

# I NFORMACIÓN Y A CTUALIDAD A STRONÓMICA

<http://www-revista.iaa.es/>

OCTUBRE DE 2014, NÚMERO 44

## La misión Rosetta

George Gamow

El universo molecular

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

<http://www.iaa.es>

El cometa 67P, objetivo de la misión Rosetta  
(ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team  
MPS/UPD/LAM/IAA/SSC/INTA/UPM/DASP/IDA)



Directora: Silbia López de Lacalle. Comité de redacción: Antxon Alberdi, Carlos Barceló, René Duffard, Emilio J. García, Pedro J. Gutiérrez, Susana Martín-Ruiz, Enrique Pérez-Montero, Pablo Santos y Montserrat Villar. Edición, diseño y maquetación: Silbia López de Lacalle.

Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en este ejemplar citando como fuente "IAA: Información y Actualidad Astronómica" y al autor o autores.

Instituto de Astrofísica de Andalucía

c/ Camino Bajo de Huétor 50, 18008 Granada. Tlf: 958121311 Fax: 958814530. e-mail: revista@iaa.es

Depósito legal: GR-605/2000

ISSN: 1576-5598

# SUMARIO

## REPORTAJES

La importancia de los cometas...3

Gamow, Alpher y el *ylem* ...10

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. El universo molecular ...12

EL "MOBY DICK" DE... Alberto Molino (IAG)...14

CIENCIA EN HISTORIAS...Tras la estela de Plateau... 15

ACTUALIDAD ...16

SALA LIMPIA ...22

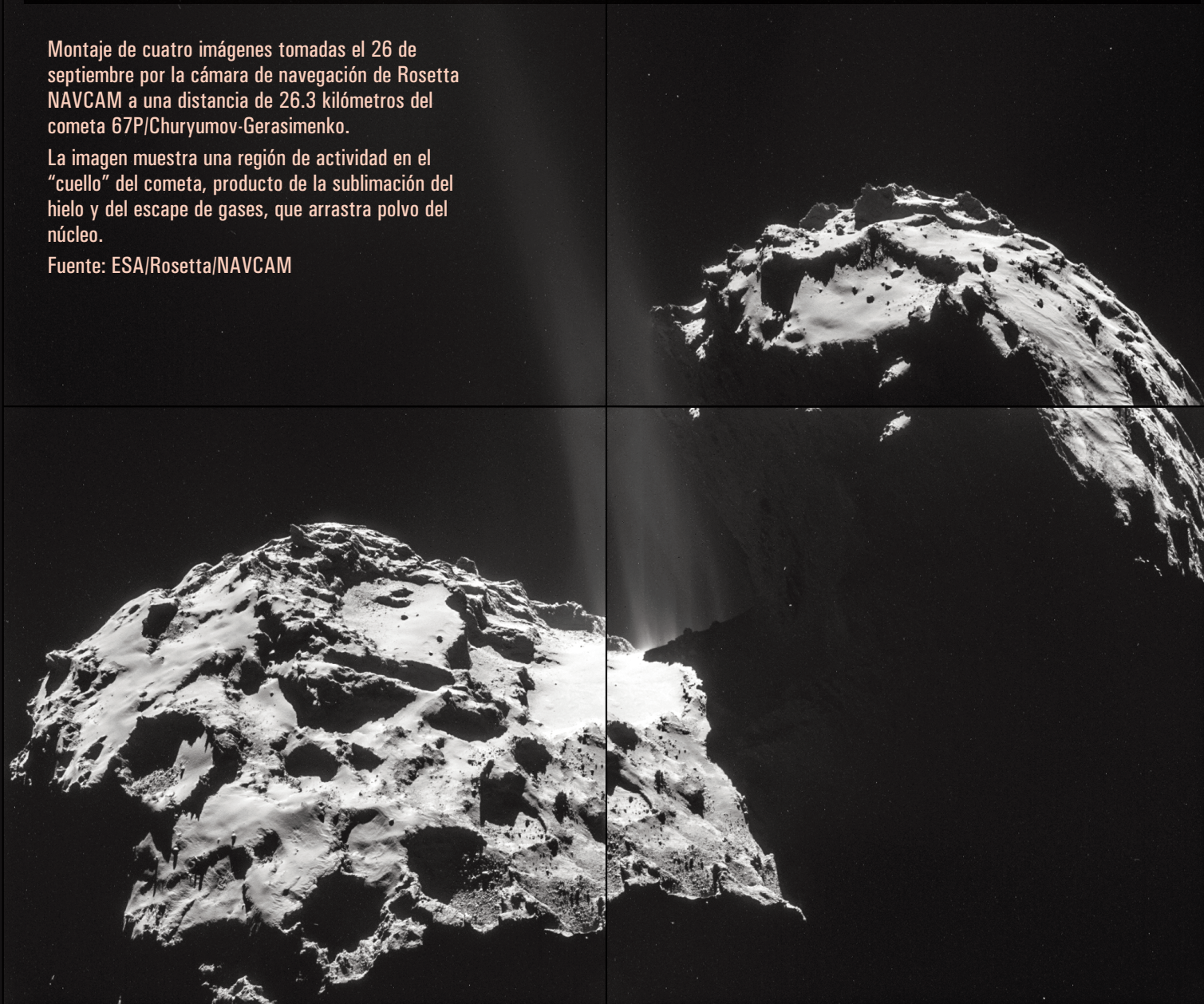
CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES.

Explosiones de rayos gamma ...23

Montaje de cuatro imágenes tomadas el 26 de septiembre por la cámara de navegación de Rosetta NAVCAM a una distancia de 26.3 kilómetros del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko.

La imagen muestra una región de actividad en el "cuello" del cometa, producto de la sublimación del hielo y del escape de gases, que arrastra polvo del núcleo.

Fuente: ESA/Rosetta/NAVCAM





# La importancia de los cometas

Imagen del cometa 67P tomada el 24 de septiembre por la misión Rosetta. Fuente: ESA/Rosetta/NAVCAM

## ¿CÓMO SE FORMÓ EL SISTEMA SOLAR? ¿CUÁL ES EL ORIGEN DEL AGUA TERRESTRE? ¿Y EL DE LA VIDA EN LA TIERRA?

Por Pedro J. Gutiérrez y  
Luisa María Lara (IAA-CSIC)

**LA COMPRENSIÓN DE LA FORMACIÓN DE NUESTRO SISTEMA SOLAR SE DILUYE EN UN MARASMO DE HIPÓTESIS** para describir cómo se pudieron originar los planetas, sus satélites, los asteroides y cometas e incluso el propio Sol. Inestabilidades gravitacionales, turbulencias, fuerzas electromagnéticas, protosol, protoplanetas, planetesimales y explosiones de supernovas son algunos de los conceptos que se invocan para intentar describir cómo llegamos hasta nuestros días. Como decimos, todo son hipótesis, tentadoras, pero hipótesis.

A mediados de los años 50 del pasado siglo, Fred Whipple planteó una idea para describir la naturaleza de los cometas. Según su planteamiento, estos objetos eran esencialmente un cuerpo sólido, con un tamaño del orden de los kilómetros y estaban constituidos por una mezcla de hielos, principalmente de agua, y polvo. Esta hipótesis, que fue contrastada en 1986, cuando se obtuvieron las imágenes del núcleo del cometa Halley por la nave Giotto (ESA), ponía en valor estos objetos del Sistema Solar. Si tenían hielo, debían haber estado a temperaturas muy bajas, y si eran relativamente pequeños, no debían haber sufrido procesos geo-

lógicos importantes. Estas circunstancias definen a los cometas como los objetos menos evolucionados de nuestro entorno y, por tanto, su estudio nos podría proporcionar información sobre cómo se originó y formó nuestro Sistema Solar. Hoy sabemos que una parte de los cometas se debió formar en la región entre Júpiter y Saturno, de donde fueron dispersados a los confines del Sistema Solar, formando la conocida como nube de Oort. Esta nube es una envoltura esférica que rodea nuestro sistema planetario y en la que residen millones de cometas, esperando que alguna perturbación los envíe hacia la parte más interna. Otra parte de los cometas se formó en la región más allá de Neptuno, donde residen hasta que, de nuevo por alguna perturbación, cambian sus órbitas y se acercan al Sol. Tanto si proceden de la nube de Oort como de la región transneptuniana, los cometas han permanecido durante la mayor parte de sus vidas alejados de la principal fuente de energía de nuestro entorno. Ese hecho apoya la idea de que los cometas son los objetos menos evolucionados del Sistema Solar.

Pero la importancia de los cometas puede ir más allá de la de ser portadores de información sobre el origen de nuestro Sistema Solar. Actualmente no disponemos de una explicación definitiva para la presencia de agua y vida en nuestro planeta. Es razonable pensar que, dada la cercanía de la Tierra al Sol y los intensos procesos que pudo sufrir durante su formación, el agua que hoy tenemos pueda proceder del exterior. ¿Fueron los cometas, cuyo principal elemento volátil es el hielo de agua, los que trajeron el agua a la Tierra? Una duda similar se plantea con el origen de la propia vida. Por un lado, se piensa que nuestra atmósfera primitiva estaba constituida principalmente por nitrógeno,

agua y dióxido de carbono, compuestos a partir de los cuales es difícil que se formen moléculas orgánicas complejas. Por otro, sabemos que entre los constituyentes cometarios hay compuestos orgánicos complejos. Por ejemplo, se ha podido detectar la presencia de benceno, naftaleno o fenantreno y, recientemente, se ha podido encontrar el aminoácido glicina en las muestras de polvo cometario que trajo la nave Stardust (NASA) del entorno del cometa Wild 2. Estos compuestos hablan en favor de la hipótesis que planteó el español Juan Oró en los años sesenta del pasado siglo: es razonable pensar que las moléculas orgánicas, o las precursoras de la vida, fueron transportadas desde la parte más externa del Sistema Solar hasta la interna.

Como vemos, los cometas pueden ayudarnos a responder a las tres preguntas que nos planteábamos al comienzo. De esas tres preguntas, quizás pronto podamos responder a la primera pero, antes, debemos saber cómo se formaron los cometas.

### La formación cometaria

Hay tres aspectos de la naturaleza cometaria que debemos conocer para estar en disposición de construir un modelo para la formación de los cometas. Estos aspectos se pueden resumir en tres preguntas: ¿Cuál es la composición cometaria, incluyendo los constituyentes minoritarios? ¿Cómo se desarrolla la actividad? y ¿cuál es la estructura interna de los núcleos cometarios?

Actualmente sabemos que los cometas son un conglomerado de hielos (material que llamaremos volátil) y polvo (material que, genéricamente, llamaremos refractario). Con respecto a los hielos, el agua es el componente mayoritario seguido por el monóxido





El cometa Hale Bopp. Fuente: Nicolas Biver.

do y el dióxido de carbono. Con respecto al material refractario, está constituido principalmente por silicatos y materiales orgánicos. Junto a estos constituyentes mayoritarios hay todo un enjambre de constituyentes minoritarios, como metanol, ácido fórmico o azufre, que son los auténticos trazadores de la historia química cometaria. Se sospecha que puede haber entre cien y doscientos de esos compuestos minoritarios y su importancia reside en el hecho de que nos pueden ofrecer una información muy valiosa sobre la formación cometaria. Un típico ejemplo lo constituye la molécula de azufre, compuesto muy volátil que se ha detectado solo en unos pocos cometas. Al ser tan volátil, la detección de azufre sugiere que los núcleos cometarios se han formado a temperaturas muy bajas, inferiores a los  $-200^{\circ}\text{C}$ , y que, al menos partes de su interior, todavía permanecen a esas temperaturas. Este hecho se apoya también en la detección y análisis de otras moléculas minoritarias volátiles como el metano o el amoníaco. El principal problema que encontramos para confirmar esta idea es que, al tratarse de compuestos minoritarios, solo son detectables desde Tierra en cometas muy brillantes, como el Hale-Bopp, o si pasan relativamente cerca de nuestro planeta. Por ello, todavía son pocos los cometas que nos ofrecen esos indicios. Además, ocurre que si bien el material volátil

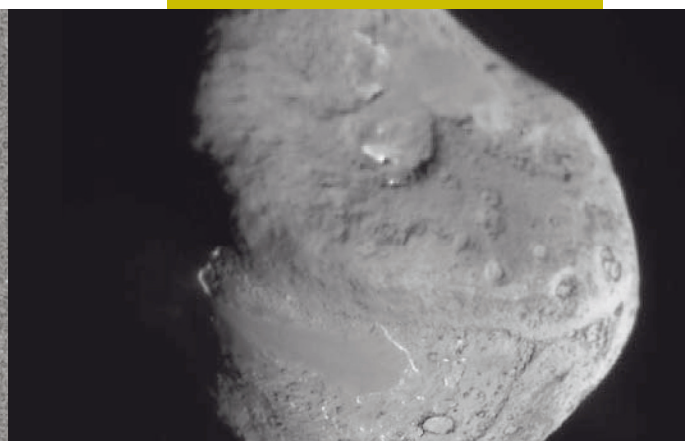
cometario, a falta de más datos, parece sugerir una temperatura de formación muy baja, el análisis del material refractario sugiere lo contrario. Los silicatos encontrados en cometas son cristalinos, lo que requiere una temperatura de formación muy elevada. Estas ideas sugieren que el polvo cometario ha tenido cierto grado de procesamiento durante la formación del Sistema Solar mientras que, por el contrario, los hielos se han preservado. Todos estos indicios se basan, principalmente, en observaciones desde Tierra y, por tanto, de las comas y colas cometarias. ¿Cuál es la relación entre el material que vemos en las colas y el presente en los núcleos cometarios? Para responder tenemos que visitar un núcleo y analizar *in situ* su material.

Mientras ese conglomerado de hielos y polvo permanece alejado del Sol se dice que el cometa está inactivo. La energía que le llega del Sol no es suficiente para provocar que los hielos sublimen. Sin embargo, cuando un cometa se acerca al Sol, los núcleos se calientan y se empieza a desarrollar la actividad: los hielos se transforman en gas y este arrastra consigo las partículas de polvo cometario. Se desarrollan entonces la coma, que envuelve al núcleo, y las espectaculares colas, formándose la imagen que todos tenemos de los cometas. Si estudiamos la evolución de la actividad cometaria encontramos

un hecho sorprendente. La sublimación de componentes volátiles en cometas parece ocurrir de manera casi simultánea, cuando empieza a sublimar el agua. Este hecho es sorprendente porque sabemos que, por ejemplo, el monóxido de carbono es mucho más volátil que el agua. En el espacio, el primero debería sublimar cuando el núcleo alcanza una temperatura alrededor de los  $-200^{\circ}\text{C}$  mientras que el agua lo hace, aproximadamente, cuando el núcleo se encuentra a unos  $-120^{\circ}\text{C}$ . ¿Por qué ocurre esto? ¿Están los componentes más volátiles que el agua encerrados de alguna manera dentro de ella? En definitiva, ¿cómo se desarrolla la actividad? Para responder a esta pregunta necesitaríamos conocer, por ejemplo, cuál es la temperatura del núcleo cuando está activo. El problema con las observaciones desde tierra reside en que cuando el cometa empieza a desarrollar la actividad y podemos tener información de los compuestos que subliman, el núcleo deja de ser accesible al ocultarse tras la coma. Para conocer cómo se desarrolla la actividad sería necesario observar el núcleo mientras los hielos subliman. De nuevo, habría que ir allí.

Con respecto a su estructura, sabemos que deben ser frágiles, y se ha visto que un gran número de cometas sufren fracturas sin causa aparente. Una magnitud que es necesario conocer para dilucidar la estructura interna cometaria es la densidad. Actualmente solo disponemos de estimaciones indirectas de esta magnitud, que indican que la densidad de los núcleos cometarios debe ser inferior a la del hielo de agua. Al ser menor que la del hielo de agua (y por tanto menor que la del polvo), los cometas deben ser muy porosos. La cuestión a resolver es si los cometas son porosos a escala micrométrica o si, por el contrario, se trata de macroporosidad. El primer caso sugeri-

Izquierda: fragmentación del núcleo del cometa C/1999 S4 (Linear)(ESO). Derecha: imagen del núcleo del cometa Tempel 1 fotografiado por la sonda Deep Impact (NASA)





ría un escenario de formación en el que granos helados de polvo colisionan a velocidades muy bajas, creciendo hasta formar un cuerpo del tamaño del núcleo cometario. Esta hipótesis de trabajo consideraría a los cometas como unos cuerpos muy longevos, de primera generación en la vida del Sistema Solar. El segundo caso, el de la macroporosidad, definiría a los núcleos como un aglomerado de trozos, con tamaños del orden de los cien metros o mayores, que dejarían grandes vacíos en su interior. Esta estructura sugeriría que los cometas se han formado por reacumulación de trozos de cuerpos helados padre que se fracturaron tras colisionar. En este escenario, los cometas pertenecerían a una segunda generación de cuerpos en la evolución del Sistema Solar. Desgraciadamente, no es posible obtener desde la Tierra una estimación directa de la densidad de los núcleos cometarios o estudiar su estructura interna. Una vez más, teníamos que ir allí.

### La misión Rosetta

Dada la importancia de las preguntas que los cometas pueden ayudar a responder, estos cuerpos han sido, en las últimas décadas, objetivo preferente de la exploración con misiones espaciales. Como hemos sugerido, desde el punto de vista científico, esas misiones espaciales se justifican, esencialmente, con dos objetivos. Por un lado, la calidad de los datos tomados *in situ* nos permite contrastar hipótesis y verificar modelos con los que interpretar los datos que se toman desde Tierra. Por otro, las misiones nos permiten acceder a información que no podríamos obtener de otro modo. Hasta la fecha son nueve las naves espaciales que han sido construidas para explorar cometas (ICE (NASA/ESRO), Giotto (ESA), Vega 1 (URSS), Vega 2 (URSS),

Suikéi (Japón), Sakigake (Japón), Deep Space 1 (NASA), Stardust (NASA) y Deep Impact (NASA), sin contar con la fallida Contour (NASA), y seis los cometas estudiados (Giacobini-Zinner, Halley, Borrelly, Wild 2, Tempel 1 y Hartley 2). Es mucha la información que hemos obtenido de estas misiones, desde la confirmación de la naturaleza cometaria hasta mapas de temperatura de la superficie. Sin embargo, las preguntas que antes nos planteábamos -¿cuál es la relación entre la composición del núcleo y la presente en las comas y colas? ¿cómo se desarrolla la actividad cometaria? ¿cómo es

*Cuando un cometa se acerca al Sol, los núcleos empiezan a calentarse y se empieza a desarrollar la actividad: los hielos se transforman en gas y este arrastra consigo las partículas de polvo cometario*

la estructura cometaria? - son cuestiones que las pasadas misiones espaciales no podían responder. Todas estaban pensadas para realizar un sobrevuelo, más o menos cercano, del núcleo cometario. Dicho de otro modo, estaban diseñadas para proporcionarnos una instantánea del fenómeno cometario. Para responder a esas preguntas necesitábamos una misión diferente: esa es la misión Rosetta.

En la década de los ochenta del siglo pasado, la Agencia Espacial Americana (NASA) y la Europea (ESA) desarrollaron conjuntamente dos proyectos para la exploración cometaria. Por una parte, el instituto de investigación tecnológica y científica *Jet Propulsion Laboratory* había planeado una misión cuyo objetivo científico consistía en

tener un encuentro con un asteroide, y una "cita" con un cometa y volar con él, es decir, convertirse en su satélite, durante casi tres años a medida que el núcleo cometario se acercara al Sol, se hiciera activo, se alejara de él y dejara de ser activo. Esta misión se llamaba CRAF, *Comet Rendezvous and Asteroid Fly-by*. Por otra parte, la ESA desarrolló un concepto de misión más atrevido, que buscaba traer a la Tierra material cometario para analizarlo en los laboratorios terrestres, a la que llamó *Comet Nucleus Sample Return* (CNSR). Ambas misiones se habrían lanzado conjuntamente a bordo del Mariner Mark II para minimizar costes. Desafortunadamente, en 1992 NASA canceló la misión CRAF cuando la estimación de coste final sobrepasaba el presupuesto que el congreso de los Estados Unidos había reservado para la exploración espacial, manteniéndose solo la misión Cassini/Huygens (NASA-ESA), cuyo desarrollo iba paralelo a CRAF.

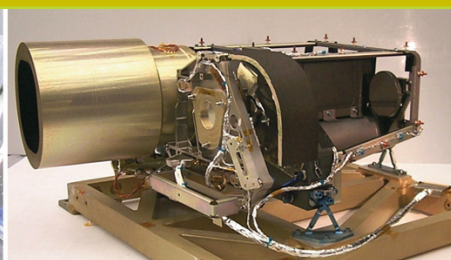
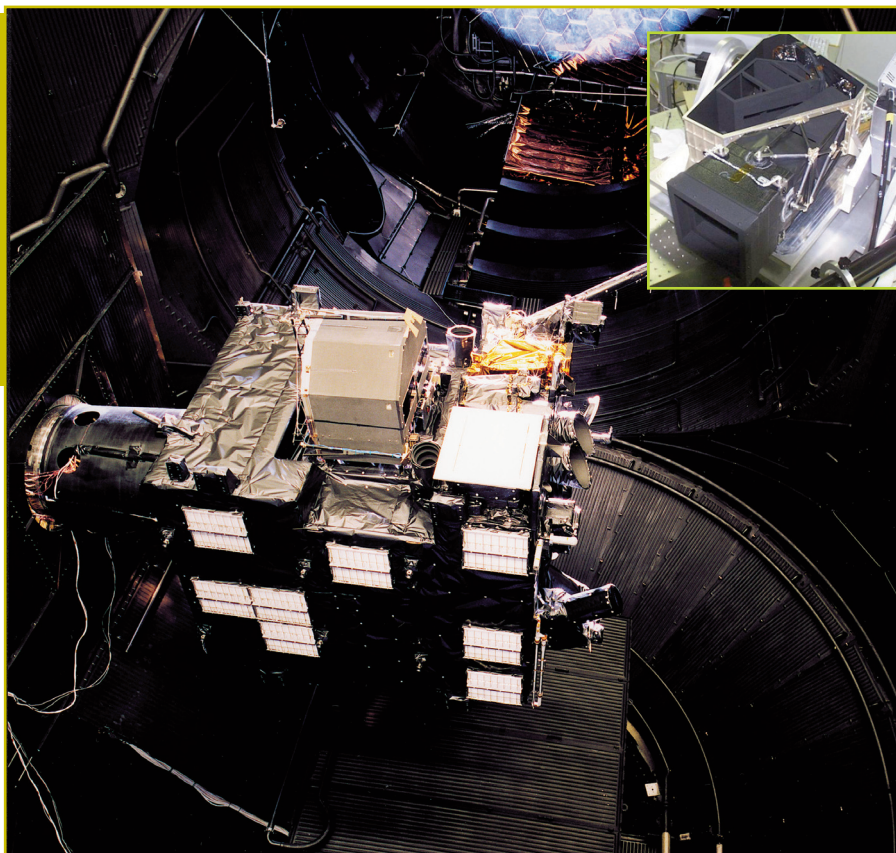
A pesar del varapalo que esto significó para la ciencia cometaria, no se abandonó la idea de explorar de cerca un cometa durante las fases de mayor interés científico y de mayor dificultad tecnológica. De esta forma, en noviembre del 1993 la ESA optó por desarrollar una misión similar a CRAF, eso sí, sin traer material cometario a la Tierra, pero aterrizando en el núcleo y analizando su material allí. La misión fue bautizada con el nombre de Rosetta, en espera de que, al igual que la piedra Rosetta (descubierta en 1799) permitió descifrar la escritura jeroglífica del antiguo Egipto, esta misión nos permita resolver muchas de las incógnitas aún existentes sobre el origen, formación y evolución del Sistema Solar.

Durante once años, los que transcurrieron desde la aprobación de la misión Rosetta en 1993 hasta su lanzamiento en el 2004, insti-

Misión Rosetta (ESA)







Izda: misión Rosetta (ESA). Sobre estas líneas, las dos cámaras del instrumento OSIRIS.

tuciones científicas y técnicas, universidades y empresas aunaron sus esfuerzos en diseñar, verificar y construir todos los instrumentos que permitirán estudiar el núcleo y la coma de un cometa con un nivel de detalle sin precedentes en la historia de la exploración espacial. La misión Rosetta consta de un módulo orbitador de 2.8 x 2.1 x 2.0 metros y tres mil kilogramos de peso total que aloja once instrumentos científicos y un experimento que hace uso de la antena de transmisión de datos del orbital a tierra. La carga útil (o de pago) suma solo ciento sesenta y cinco kilos. Además, Rosetta lleva un módulo de aterrizaje, Philae, de cien kilos en un volumen de un metro cúbico aproximadamente, que a su vez tiene nueve instrumentos especialmente diseñados para caracterizar la superficie e interior del núcleo cometario, así como para estudiar los procesos físicoquímicos que ocurren en los primeros metros de la atmósfera cometaria. Cuatro de los once instrumentos a bordo del módulo orbitador observarán el núcleo cometario y las comas de gas y polvo en longitudes de onda que comprenden desde el ultravioleta hasta las microondas pasando por el infrarrojo y el visible. Cada intervalo espectral proporciona información sobre diferentes características físicoquímicas del cometa como un todo. Por ejemplo, los datos en el ultravioleta del instrumento ALICE permitirán conocer las tasas de producción de gases como agua, monóxido de

carbono y dióxido de carbono, además de proporcionar información sobre la composición de la superficie del núcleo. La visión en el infrarrojo de VIRTIS permitirá conocer, por ejemplo, la temperatura superficial del núcleo, de crucial importancia para determinar cómo se desarrolla la actividad. A longitudes de onda entre 0.5 y 1.6 mm, el instrumento MIRO permitirá conocer la abundancia isotópica de determinados compuestos, lo que indica en qué condiciones se formó el núcleo cometario y podrá medir la temperatura de la superficie y subsuperficie. La cámara OSIRIS, el “ojo científico” de la nave Rosetta, obtendrá imágenes del núcleo y las comas (gas y polvo) cometarias en luz visible, ultravioleta e infrarrojo cercano. OSIRIS es resultado de un importante esfuerzo de cinco países europeos: Francia, Italia, Alemania, Suecia y España. OSIRIS consta de dos cámaras, una llamada NAC (*Narrow Angle Camera*) con un campo de visión de 2 x 2 grados (aproximadamente), lo que en el argot fotográfico se puede considerar como un supermacro (el núcleo se podrá ver con una resolución espacial del orden del centímetro por píxel a una distancia de un kilómetro entre Rosetta y el núcleo cometario); y otra llamada WAC (*Wide Angle Camera*) con un campo de visión unas cinco veces superior al de NAC (y por tanto menor resolución espacial), que podemos asemejar a un gran angular. Ambas cámaras están dotadas de filtros para estudiar el

cometa en su totalidad, pero se puede considerar que NAC está más orientada a escudriñar el núcleo cometario y la evolución del mismo a medida que el cometa desarrolla su actividad, mientras que WAC se focaliza más en estudiar la componente gaseosa (CN, C<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub>, NH, OH, ...) de la coma cometaria que resulta de la fotodisociación y de los procesos químicos de moléculas producidas originalmente desde la superficie o subsuperficie del núcleo cometario. El Instituto de Astrofísica de Andalucía ha sido responsable del diseño y fabricación de la tarjeta que controla los mecanismos de OSIRIS, es decir, de las ruedas de filtros y de las tapas frontales de los “objetivos” de las cámaras NAC y WAC. Otra institución española, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), se responsabilizó del diseño y fabricación de las ruedas de filtros tanto de NAC como de WAC, y de la fuente de alimentación de OSIRIS, mientras que el Instituto de Microgravedad Ignacio da Riva (IDR) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) realizó el estudio térmico de OSIRIS.

La distribución en número, masa, momento y velocidad de las partículas de polvo en la

*La cámara OSIRIS, el “ojo científico” de Rosetta, obtendrá imágenes del núcleo y las comas cometarias en luz visible, ultravioleta e infrarrojo cercano*

coma y cola cometaria la determinará otro instrumento con contribución española: GIADA. En este caso, el IAA ha diseñado y desarrollado toda la electrónica principal del instrumento así como el software de control del mismo. Este instrumento tiene un funcionamiento muy complejo a la vez que ingenioso e innovador ya que intervienen unas cortinas de luz láser y un conjunto de microbalanzas para determinar las características del polvo cometario anteriormente mencionadas. Para completar el estudio del



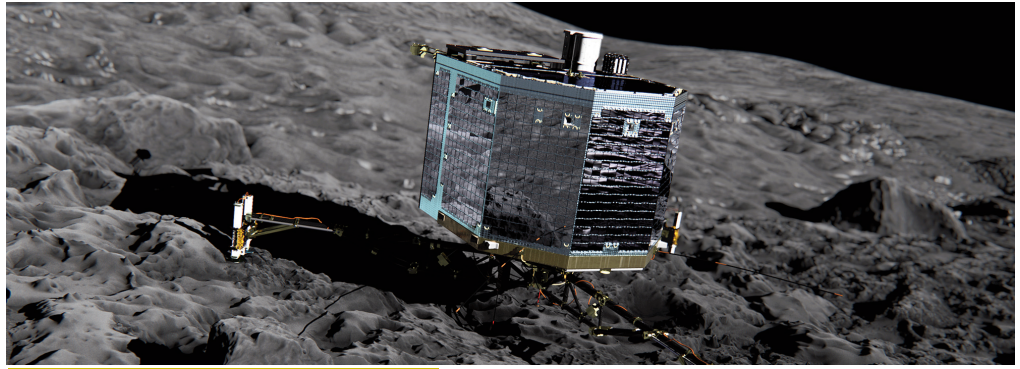
polvo cometario, el instrumento MIDAS aportará datos para conocer el tamaño, volumen y forma de los granos de polvo, mientras que COSIMA analizará la composición orgánica o inorgánica de los mismos.

Los tres instrumentos restantes a bordo del orbital -CONSERT, ROSINA y RPC- aportarán información sobre el interior del núcleo, la composición de la atmósfera (i.e., la coma de gas) e ionosfera cometaria y sobre la interacción del viento solar con el cometa (tanto de la superficie como de las comas de gas y polvo y de la cola).

Para medir la masa y el campo gravitatorio del núcleo cometario (y por lo tanto para extraer información sobre su estructura interna) se hace uso de la propia antena de transmisión de datos de Rosetta. La frecuencia a la cual transmiten esos datos se ve modificada (efecto doppler) por la presencia de cierta masa (la del núcleo cometario) que genera un campo gravitatorio. El movimiento de la nave Rosetta que causa ese efecto doppler es la respuesta a las variaciones en la distribución de masa del núcleo cometario. Este tipo de experimento produce los mejores resultados cuando el cambio de velocidad de Rosetta ocurre en la línea que uniría la estación de seguimiento en tierra con la nave espacial, y por lo tanto permite medir el efecto doppler de la señal inducido por el campo gravitatorio del cometa.

## Primer aterrizaje sobre un cometa

El módulo de aterrizaje Philae y los instrumentos que porta son el resultado de un consorcio europeo (Austria, Finlandia, Francia, Hungría, Irlanda, Italia y el Reino Unido) liderado por la Agencia Espacial Alemana (DLR). El módulo se encuentra ubicado en un lateral del módulo orbitador. En la fecha predefinida (actualmente el 12 de noviembre del 2014), cuando la nave Rosetta se encuentre a una distancia aproximada de la superficie del núcleo de entre doce y veintidós kilómetros, Philae se liberará mediante un sistema de husillo a una velocidad de 0.5 metros por segundo con respecto al orbitador. En caso de emergencia, también lleva un muelle precargado para la eyección del módulo de aterrizaje. La dirección de la liberación juega también un papel importante y será en contra de la dirección de movimiento de Rosetta. En la planificación actual de todas las maniobras de navegación, y según el conocimiento del núcleo del cometa y del lugar elegido para el aterrizaje, Philae puede tardar de cuatro a siete horas en llegar a la superficie del cometa. La velocidad de la toma de contacto será de aproximadamente un metro por segundo y la dirección debe ser perpendicular a la super-



De arriba abajo: concepción artística del módulo Philae (ESA), y los asteroides Lutecia y Steins (ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA).

ficie local. El módulo de aterrizaje tiene un tren de aterrizaje al que se une lo que se conoce como burbuja. Esta última es esencialmente un motor eléctrico que se utiliza como un generador de energía. En la toma de contacto del módulo con la superficie del núcleo, la burbuja accionará el motor o generador; este transformará la energía de movimiento en energía eléctrica, que se liberará y se transformará en calor. Además, poco después de la toma de contacto, dos arpones saldrán despedidos para anclar el módulo de aterrizaje al suelo (la profundidad máxima del anclaje es de tres metros). Por otra parte, las patas de Philae tienen unos tornillos que, en el momento de tocar la superficie, comenzarán a enroscarse a la misma. En este proceso de “amarre” al núcleo cometario, un propulsor en el panel superior del módulo de aterrizaje se disparará durante unos segundos al tocar la superficie cometaria para empujar el módulo de aterrizaje contra el suelo y facilitar toda la maniobra. La masa de la sonda de alrededor de cien kilos se traduce en un peso efectivo del módulo de aterrizaje en la

superficie del cometa de tan solo unos pocos gramos en la Tierra. Estos anclajes de arpón y tornillo son también necesarios durante las actividades de perforación de la superficie que harán los instrumentos alojados en el módulo de aterrizaje. Philae se liberará en un momento de baja actividad del núcleo cometario pero, a medida que este se acerque al Sol, la sublimación de gases y la producción de polvo determinarán la vida efectiva del módulo de aterrizaje.

Conversaciones con diferentes investigadores principales de los instrumentos de Philae indican que, en condiciones óptimas, pero reales, la supervivencia puede ser de hasta cuatro meses. Sin embargo, las actividades propias de los instrumentos junto con el acercamiento al Sol pueden elevar la temperatura hasta unos valores en los que la electrónica deja de funcionar. Esta “muerte por abrasamiento” puede ocurrir aproximadamente cuando el cometa, con Philae sobre él, se halle a unos trescientos millones de kilómetros del Sol (dos Unidades Astronómicas -UA-).

Rosetta se lanzó al espacio el 2 de marzo del 2004 a bordo del cohete Ariane 5 G+ y ha viajado a más de ochocientos ochenta millones de kilómetros, para lo que hizo uso de tres asistencias gravitatorias por la Tierra y una por Marte, ha sobrevolado dos asteroides (Steins y Lutecia) y obtenido resultados científicos sobre los mismos, y ha pasado treinta y un meses en hibernación en el espacio a distancias superiores a la órbita de Júpiter. El día 20 de enero 2014, desde ESOC se lanzó a Rosetta la orden de despertar de su largo letargo, lo que ocurrió con éxito pero no sin momentos de nervios y preocupación, y para finales de marzo del 2014 ya se había comprobado que todos los instrumentos a bordo del orbital y del módulo de aterrizaje estaban en perfectas condiciones. El mensaje no podía ser más alentador: Rosetta estaba lista para comenzar sus operaciones científicas hasta, como mínimo, diciembre 2015.

La planificación científico técnica de la misión -desde el inicio del desarrollo de los



instrumentos hasta el momento final en que el centro de operaciones de la ESA (ESOC) “abandone a su suerte” a la nave Rosetta- ha descansado en el conocimiento de los cometas adquirido mediante observaciones desde tierra y con telescopios espaciales como el Hubble. El lanzamiento de Rosetta estaba originalmente previsto para enero del 2003 a bordo del cohete Ariane 5 ECA (*Evolution Cryotechnique type A*). En aquella planificación, el objetivo de la misión era el cometa 46P/Wirtanen, con el que se encontraría en 2011. Múltiples campañas de observación desde tierra y desde el espacio habían permitido obtener un conocimiento relevante del mismo. Sin embargo, en diciembre de 2002 la configuración ECA del cohete Ariane 5 falló, y la ESA y Arianespace tomaron conjuntamente la decisión de no lanzar la misión Rosetta en enero 2003, ventana de lanzamiento que hubiera permitido a la nave Rosetta encontrarse con 46P en el 2011. Esto, escrito en frases coloquiales, significó tener “una misión compuesta y sin novio”; es decir, la nave y los instrumentos estaban listos para ir al espacio interplanetario en busca de un

cometa, pero no había cometa candidato. De entre los cometas con órbitas conocidas y con observaciones en varios pasos por el Sistema Solar interior, los científicos cometas, junto con los ingenieros de navegación de ESOC, determinaron que el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko cumplía todas las características y que permitiría a la misión Rosetta alcanzar el mismo éxito que si hubiese sido lanzada en el 2003 hacia el cometa 46P. Con la única salvedad de que la nave tardaría diez años en encontrarse con el núcleo del 67P en lugar de los ocho años que hubiera tardado en citarse con 46P.

Los datos disponibles hasta la primavera de este año indicaban que el cometa 67P giraba en torno a sí mismo con un período de rotación de 12.46 horas y que presentaba una forma parecida a un balón de rugby de aproximadamente cinco por tres kilómetros (ver sección siguiente). El análisis de estructuras en su coma de polvo parecía indicar la existencia de zonas activas en el ecuador y a -45 y +60 grados de latitud. El 30 abril 2014, OSIRIS adquirió imágenes del cometa 67P cuando estaba aproximadamente a cuatro UA del Sol y detectó una coma de polvo de

unos mil trescientos kilómetros envolviendo al núcleo. Análisis de datos previos y posteriores a esa fecha nos permiten concluir que 67P ha sufrido un estallido repentino de actividad, algo habitual y observado en muchos cometas pero que no se había detectado en las múltiples campañas de observación a las que este cometa ha sido sometido desde su elección como objetivo de la misión Rosetta. Esto nos indica que no existe mejor método científico que observar lo que ocurre a nuestro alrededor, y ahora, sin lugar a dudas, “estamos en el lugar adecuado en el momento adecuado” para conocer más sobre el origen, formación y evolución del Sistema Solar como un todo, y sobre aspectos cruciales en el planeta que habitamos.

Coinvestigadores españoles en Rosetta son: en el IAA-CSIC Pedro J. Gutiérrez, Luisa M. Lara, José Juan López-Moreno, Fernando Moreno, Julio Rodríguez; en el Centro de Astrobiología (CSIC-INTA) Rafael Rodrigo; en el INTA María Dolores Sabau; y en el IDR de la UPM Ángel Sanz.

[Artículo publicado originalmente en la revista *Astronomía*]



(ESA/Rosetta/NAVCAM)

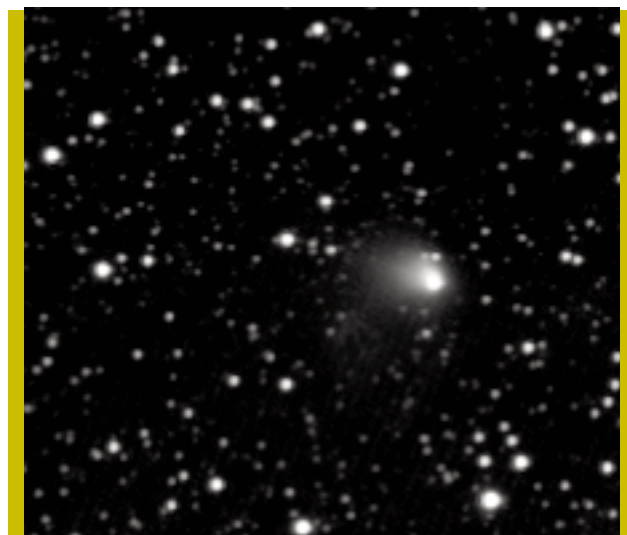
## EL ACERCAMIENTO DE LA MISIÓN ROSETTA AL COMETA 67P HA PROPORCIONADO IMPRESIONANTES Y SORPRENDENTES IMÁGENES

### 67P despierta

“67P está empezando a parecer un cometa de verdad”, comentaba Holger Sierks (MPS), investigador principal de la cámara OSIRIS, ante esta imagen tomada a finales de abril que mostraba claramente un cambio en el aspecto del cometa: el núcleo se encontraba ya rodeado por una envoltura de polvo, la coma, que se extendía unos mil trescientos kilómetros en el espacio.

El cometa 67P se hallaba aún a más de seiscientos millones de kilómetros del Sol, más de cuatro veces la distancia entre la Tierra y el Sol. “Las múltiples campañas de observación del cometa realizadas desde tierra no habían permitido detectar actividad a distancias tan grandes del Sol. Este resultado es ya *per se* de una importancia crucial, y el primero de los muchos que OSIRIS y Rosetta nos regalarán en los próximos dos años”, apuntaba Luisa M. Lara, investigadora del IAA e integrante del equipo OSIRIS.

El equipo OSIRIS pudo establecer la rotación de 67P en 12.4 horas, veinte minutos menos que las estimaciones realizadas a partir de datos desde tierra.

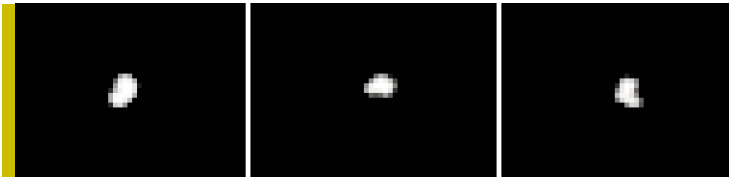


(ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA)



## El patito de goma

Si bien a una distancia de treinta y siete mil kilómetros el cometa ya mostraba una forma irregular -algo esperable en un cometa-, las capturas a unos catorce mil kilómetros supusieron una sorpresa mayúscula: 67P mostraba una forma nunca vista en un cometa, con dos regiones diferenciadas. "Es distinto a cualquier otro cometa que hayamos visto -apuntaba Carsten Güttler (MPS), miembro del equipo OSIRIS -. Las imágenes me recuerdan vagamente a un patito de goma", añadía.



(ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA)

## La entrada en órbita

El pasado 6 de agosto, los profesionales y aficionados a la astronomía vivimos un momento histórico: tras recorrer casi seis mil cuatrocientos millones de kilómetros a través del Sistema Solar, la sonda Rosetta completó con éxito una de sus maniobras clave y entró en órbita en torno a su objetivo, el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Una operación que permitirá, por primera vez, observar *in situ* cómo un núcleo cometario despliega su actividad y desarrolla la coma y las colas que aportan a los cometas su aspecto característico.

"Pensar que uno estuvo trabajando con algo, que lo tuvo entre sus manos, y que ha llegado a la órbita de Júpiter, ha despertado tras más de treinta meses de la hibernación y está acompañando a un cometa en su órbita hacia el Sol es verdaderamente gratificante", señalaba Luisa María Lara, investigadora del IAA que participa en la misión y trabajó en la calibración de la cámara OSIRIS a bordo de Rosetta.

La proximidad al cometa permitió obtener imágenes de altísima resolución del núcleo del cometa, un objeto complejo y bellissimo.



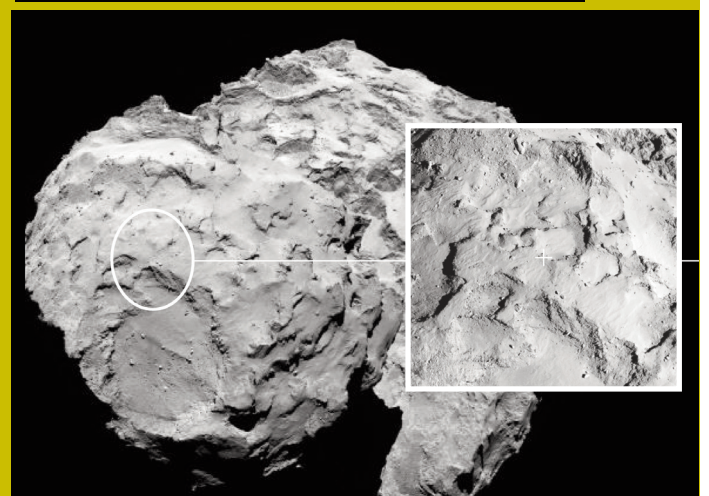
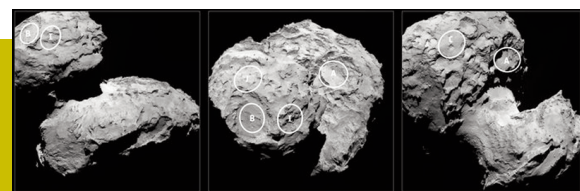
(ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA)

## Preparando el aterrizaje

Antes de la llegada de Rosetta no se disponía de información sobre la superficie del cometa 67P, por lo que el equipo de la misión empezó a buscar un lugar apropiado para el aterrizaje del módulo Philae, un hito en la historia de la exploración espacial que tendrá lugar cuando el cometa todavía se encuentre a unos 450 millones de kilómetros del Sol (antes de que la actividad del cometa alcance un nivel que pudiera poner en peligro la maniobra o alterar la composición de la superficie).

El proceso de selección del lugar idóneo para el aterrizaje de Philae resultó muy complejo. La zona de aterrizaje debía satisfacer las necesidades técnicas del satélite y las del módulo de aterrizaje durante las fases de separación, descenso y aterrizaje, y además ser relevante para las operaciones en superficie de los diez instrumentos científicos que transporta Philae.

Tras el análisis, el equipo de la misión determinó que Philae se dirigirá al lugar J, una región del cometa que ofrece un potencial científico único, con indicios de zonas activas muy próximas y un riesgo mínimo para el módulo en comparación con los otros lugares candidatos. La decisión de escoger J como punto de aterrizaje principal fue unánime. La segunda opción elegida, la zona C, está situada en el cuerpo del cometa (la decisión definitiva tendrá lugar a mediados de octubre). El módulo de aterrizaje llegará a la superficie el 12 de noviembre. Su misión consiste en tomar medidas *in situ* para caracterizar a fondo el núcleo del cometa, en un estudio sin precedentes.



(ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA)



# Gamow, Alpher y el ylem

## EL ASTRÓNOMO GEORGE GAMOW DESTACÓ POR SU PERSONALIDAD SOCARRONA Y POR SUS SUSTANCIALES APORTACIONES A LA ASTROFÍSICA

Por Miguel Ángel Pérez-Torres (IAA-CSIC)

**GEORGE GAMOW, RUSO, NACIDO EN ODESSA (AHORA UCRANIA) EN 1904 Y FALLECIDO EN COLORADO (EE.UU.) EN 1968**, tuvo un matrimonio tempestuoso y fue un bebedor empedernido, además de un redomado cotilla y un bromista de leyenda. Sin embargo, esta vida agitada no fue óbice para que Gamow realizara contribuciones sustanciales a temas que abarcaron desde la cosmología y la física atómica hasta la genética y el ADN. Gamow fue también un excelente divulgador de la física, y sus libros “Biografía de la Física” así como la serie “Mr. Tompkins” son, a pesar del paso del tiempo, una estupenda lectura para todo aquel que guste de la ciencia en general y de la física en particular.

Gamow estudió entre 1923 y 1929 en la Universidad de Leningrado (actual San Petersburgo). Trabajó un tiempo bajo la dirección del cosmólogo Alexander Friedmann, con quien quiso haber hecho su tesis doctoral. Desgraciadamente, el proyecto se truncó debido a la temprana muerte de Friedmann en 1925.

En Leningrado hizo amistad con otros tres estudiantes famosos, Lev Landau, Dmitri Ivanenko y Matveiy Bronshtein, con quienes se reunía regularmente para discutir los artículos de física cuántica de la época. Haciendo honor a su fama de bromista y ocurrente sin igual, llamó a este grupo “Los Tres Mosqueteros”.

Gamow era un erudito sin par que vivía por y para la ciencia y, como es normal, también se equivocaba. En palabras de Edward Teller, en tiempos colaborador de Gamow, “el 90 por ciento de las teorías de Gamow eran, o se demostraron ser, equivocadas, pero eso no le importaba.

Podía desechar la última de sus ideas y luego considerarla como una broma”. Vera Rubin, astrónoma que estudió con Gamow, recuerda que “podía plantear cuestiones que se adelantaban a su tiempo. Además, no sentía ningún interés por los detalles; en muchos aspectos puede que no fuera competente como para verificar muchos de los detalles... Era como un niño”. Aunque esto parece ser cierto, Gamow tenía una intuición y un conocimiento de la física impresionantes y, como se verá, fueron cruciales para dar un impulso definitivo a la teoría del Big Bang.

### El decaimiento de las partículas alfa

En 1928, con apenas veinticuatro años, Gamow resolvió un problema que traía de cabeza a los físicos atómicos: el problema del decaimiento de las partículas alfa (un tipo de decaimiento radiactivo por el que un núcleo atómico se transforma en otro de número másico menor en cuatro y número atómico menor en dos). Para ello, Gamow propugnó como explicación el efecto de túnel cuántico, aplicando así los aspectos más innovadores de la física de la época (recordemos que la teoría cuántica se estaba desarrollando y era muy novedosa entonces). A la edad de veintiocho años fue elegido miembro de Academia de Ciencias de la URSS, siendo uno de los miembros más jóvenes de todos los tiempos.

Gamow continuó trabajando en varias instituciones de la URSS, pero la opresión le hizo pensar en abandonar el país junto a su mujer. Tras varios intentos fallidos, en 1933 se presentó la ocasión, con motivo de la Séptima Conferencia Solvay, donde la ayuda de Marie Curie y otros físicos fue esencial. Después de dejar la URSS, Gamow trabajó en varias universidades de Europa hasta que se trasladó de modo definitivo a los EE.UU. en 1934.

Durante su larga estancia como profesor en la Universidad George Washington fue donde se gestaron, con la ayuda fundamental de Ralph Alpher, los trabajos cruciales que derivarían en soporte básico para un Big Bang “caliente”, así como la predicción de una radiación residual, ahora conocida como fondo cósmico de microondas, y por cuyo descubrimiento recibieron el premio Nobel... Penzias y Wilson, de quienes



George Gamow

*“Gamow podía plantear cuestiones que se adelantaban a su tiempo. Además, no sentía ningún interés por los detalles; en muchos aspectos puede que no fuera competente como para verificar muchos de los detalles... Era como un niño”*

hablaremos en otra ocasión. Gamow aceptó a Alpher, hebreo de origen bielorruso, como doctorando, e inmediatamente lo puso a trabajar en un tema muy relevante en la época y que sería su tesis doctoral: el origen de los elementos químicos en el universo. La preparación en física atómica de Alpher, así como su profundo conocimiento de la matemática aplicada, fueron esenciales para que él y Gamow resolvieran, junto con Robert Herman, el problema básico de



la abundancia de elementos en el universo.

## El universo primordial y el origen de los elementos

Gamow había sido el primero en sugerir

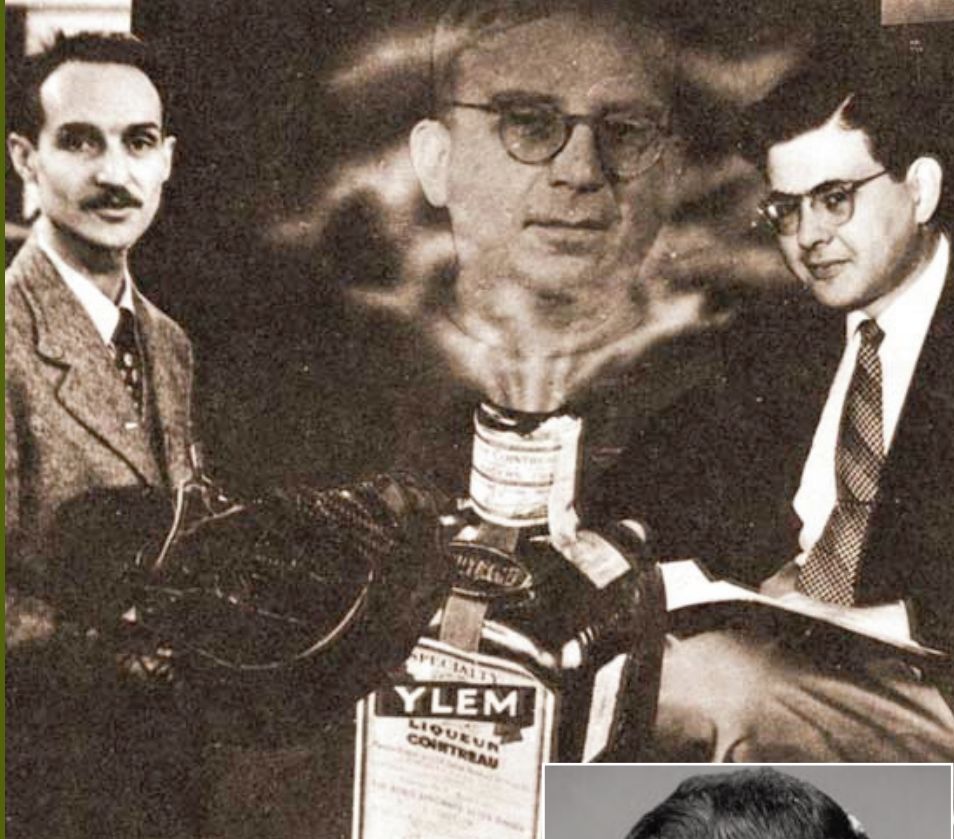
confirmó en detalle en el trabajo que en abril de 1948 publicaron Alpher, Herman y Gamow (2) y que constituyó el resultado principal de la tesis de Alpher. En las primeras fases de este universo caliente, la

Cabe resaltar que muchos científicos citan erróneamente otro artículo, publicado el mismo año 1948 por Alpher, Bethe y Gamow (3), como el trabajo donde se da la primera explicación a la formación de los elementos químicos en el universo, lo que no es cierto. Este artículo, conocido jocosamente como el artículo  $\alpha\beta\gamma$  por las iniciales de los autores, fue la enésima broma de Gamow y, desgraciadamente, solo sirvió aquí para que el público pensara que la mayor parte del crédito era de Gamow y Bethe. En realidad, Bethe no hizo absolutamente nada para el artículo, salvo el acceder a estar en él. Gamow debió de pensar que sería muy efectista juntar el inicio del universo con el inicio del alfabeto griego.

Gamow también propuso que debería ser posible detectar la radiación residual del Big Bang. Gamow calculó que, tras haber recorrido el universo desde su inicio hasta la actualidad, la radiación debería detectarse en la banda de las microondas. Incluso sugirió que la antena de los laboratorios Bell, en Holmdel, podría servir a tal fin. Sin embargo, el crédito a la famosa estimación de los cinco grados Kelvin no debe darse a Gamow, sino a Alpher y Herman, quienes publicaron esta predicción en la revista *Nature* en 1948 (4). Desgraciadamente, tanto el trabajo de Alpher y Herman como la sugerencia de Gamow cayeron en saco roto y tuvieron que pasar más de quince años hasta que la radiación del fondo cósmico se detectara, de manera completamente fortuita, y sin que ni los laureados con el premio Nobel ni otros cosmólogos citaran los pioneros y fundamentales trabajos de Alpher, Herman y Gamow.

En la bibliografía se tiende actualmente a dar más valor al trabajo de Alpher (olvidando a Herman, por cierto), dado que hizo los cálculos detallados que el volátil Gamow nunca se habría preocupado por hacer. Lo cierto es que Alpher, que había estado trabajando hasta que inició la tesis con Gamow en proyectos de física aplicada para los militares de los EE.UU., tuvo la gran fortuna de tener a alguien como Gamow como director. Gamow fue quien le propuso el trabajo y le dio una enorme independencia, así como una estupenda guía en el trabajo.

Así pues, a pesar del actual revisionismo, podemos simplificar diciendo que, sin Gamow (ni Herman), posiblemente Alpher no habría realizado nunca los trabajos fundamentales que realizó en aquel tempestuoso 1948.



De izquierda a derecha, Robert Herman, George Gamow - saliendo del "líquido" primordial *ylem*- y Ralph Alpher, en una broma que seguro fue del agrado de Gamow.

### NOTAS

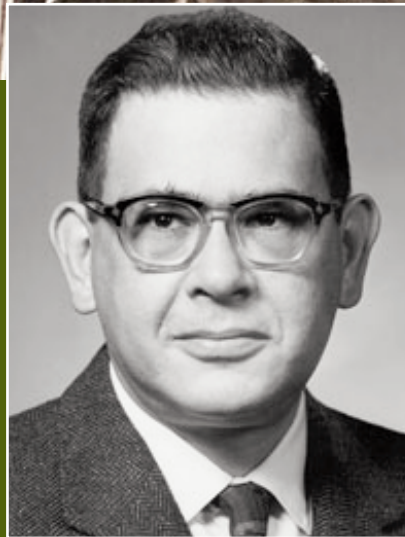
(1) Gamow, *The Expanding Universe and the Origin of Elements*, *Physical Review*, 70: 572-573 (1946)

(2) Alpher, Herman and Gamow, *Thermonuclear Reactions in the Expanding Universe*, *Physical Review*, 74: 1198-1199 (1948)

(3) Alpher and Herman, *Evolution of the Universe*, *Nature*, 162: 774-775 (1948)

(4) Alpher, Bethe and Gamow, *The origing of Chemical Elements*, *Physical Review*, 73: 803-804 (1948)

Para saber más: P.J.E. Peebles, *Discovery of the Hot Big Bang: What happened in 1948*, arxiv-preprint (2013)



Ralph Alpher

que el universo primordial estaba compuesto de un *ylem* (es decir, "material primordial" en griego, otra más de las ocurrencias de Gamow), que estaría constituido únicamente por neutrones a temperaturas de diez mil millones de grados (1). Para poder explicar la abundancia de los elementos químicos, Gamow sugirió también que era necesario un proceso fuera de equilibrio, y que este funcionase durante un corto intervalo de tiempo. Esta idea se

progresiva captura de neutrones daría lugar a la formación de deuterio, helio y elementos más pesados. Aunque la abundancia de elementos más pesados que el helio no puede explicarse de modo satisfactorio en el marco de esta teoría, es cierto -como hoy sabemos- que el único modo de explicar la abundancia de hidrógeno y helio en el universo es precisamente el modelo de un universo temprano extremadamente caliente.



# EL UNIVERSO MOLECULAR

LAS MOLÉCULAS JUEGAN UN PAPEL FUNDAMENTAL TANTO EN LA EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO, POR SU ABUNDANCIA Y VARIEDAD, COMO EN LA EVOLUCIÓN DE LA VIDA POR SU RIQUEZA EN MATERIA ORGÁNICA. POR ESO HABLAMOS DE UN UNIVERSO MOLECULAR. EXPERTOS EN ESPECTROSCOPIA DE LABORATORIO, FÍSICOS MOLECULARES, QUÍMICOS Y ASTRÓNOMOS SE HAN UNIDO EN EL PROYECTO ASTROMOL PARA ESTUDIAR, CON UN ENFOQUE INNOVADOR, ESTAS MOLÉCULAS ENCONTRADAS EN EL ESPACIO, INTENTANDO DILUCIDAR NO SOLO QUÉ ESPECIES HAY EN CADA ZONA, SINO TAMBIÉN QUÉ IMPLICACIONES TIENEN EN LOS PROCESOS FÍSICOS Y QUÍMICOS QUE RIGEN EL UNIVERSO.

ASTROMOL ESTÁ FORMADO POR DOCE GRUPOS INTERDISCIPLINARES DE INVESTIGACIÓN EN ASTROFÍSICA, FÍSICA MOLECULAR Y QUÍMICA-FÍSICA, ESTABLECIDOS EN VARIAS INSTITUCIONES PÚBLICAS DE INVESTIGACIÓN Y UNIVERSIDADES, ENTRE LOS QUE SE ENCUENTRA EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA (IAA-CSIC)

## 1 ¿CÓMO SE TRABAJA EN ASTROQUÍMICA?

Tras identificar un elemento químico en el espacio gracias a su particular firma espectral (algo parecido a una huella dactilar, personal e intransferible), es necesario confirmar de algún modo esta información, procedente de la emisión de moléculas y átomos presentes en los objetos observados.

En el mejor de los casos, estas huellas ya han sido caracterizadas en los laboratorios mediante técnicas de espectroscopía, que permiten la identificación de las moléculas emisoras. Sin embargo, en muchos casos las huellas no están identificadas y, por tanto, no conocemos la identidad de la molécula emisora (aunque sí conocemos su rango energético de emisión y la intensidad asociada). En este caso, debemos realizar un estudio previo a grandes rasgos del tipo de química que existe en el objeto observado y, de nuevo, recurrir a las técnicas espectroscópicas de laboratorio. Podemos decir que se trata de un ejercicio de ensayo y error sobre determinadas moléculas, hasta que la huella obtenida en el laboratorio coincide con la observada en el objeto: de hacerlo, habremos identificado la molécula emisora.

Posteriormente, si queremos derivar las propiedades fisicoquímicas de la

región observada (densidad, temperatura y abundancia molecular), tenemos que recurrir a modelos de transferencia de radiación.

Y, por último, si pretendemos entender cómo se forman las moléculas emisoras, debemos recurrir a modelos químicos y a experimentos de laboratorio. Estos experimentos se llevan a cabo en cámaras especialmente preparadas, llamadas cámaras de ultra-alto-vacío, que simulan las condiciones extremas existentes en el medio interestelar. Así, por ejemplo, se simula la formación de los granos de polvo en las atmósferas de estrellas evolucionadas, la agregación de moléculas a los granos de polvo o la formación de hielos en las superficies de dichos granos.

En definitiva, el proceso completo de identificación ayuda a refinar los modelos y los desarrollos teóricos a la vez que permite identificar la molécula y utilizarla como diagnóstico de las propiedades físicas y químicas de la región de emisión.

Nuestros estudios de la complejidad química en el medio interestelar, así como en las regiones donde se forman las estrellas y los planetas, están abriendo puertas fundamentales para entender la formación de las estrellas y los planetas y, en última instancia, el origen de la vida en la Tierra.

## CONFIRMADA LA PRESENCIA DE FOSFINA EN TORNO A LA ESTRELLA CW LEONIS

La fosfina ( $\text{PH}_3$ ), una de las formas más estables del fósforo, ha sido detectada por primera vez fuera del Sistema Solar. La importancia de esta detección radica en que el fósforo está presente en todas las formas de vida conocidas, por lo que el descubrimiento de esta molécula es un paso hacia una mejor comprensión de la química del fósforo en el cosmos.



## RESULTADOS 3

## DESCUBIERTA LA PRESENCIA DE LA ESPECIE $\text{OH}^+$ EN TORNO A ESTRELLAS MORIBUNDAS

Las investigaciones han desvelado que la especie  $\text{OH}^+$ , esencial para la formación de agua, se encuentra presente en los ardientes restos de estrellas moribundas de tipo solar. Dos trabajos han sacado a la luz este hallazgo, uno de ellos liderado por un miembro de ASTROMOL y llevado a cabo con datos del telescopio espacial Herschel (ESA).

## ALGO HUELE A PODRIDO... EN ORIÓN KL

Literalmente. La región de formación de estrellas masivas Kleinmann-Low forma parte de la nube molecular de Orión, y por ello es conocida como Orión KL. En su entorno se ha detectado la posible presencia de mercaptano de etilo, un gas que se caracteriza por su olor a huevos podridos. De ahí que la frase, pronunciada por el personaje de Marcelo en el primer acto del *Hamlet* de Shakespeare, nos venga que ni pintada.



¿QUIERES SABER MÁS?: <https://astromol.cab.inta-csic.es/>



## 2 OBJETIVOS

### VAPOR DE AGUA EN EL ESPACIO

Esta molécula es una de las especies más abundantes del universo molecular, y estudiamos su presencia en numerosos entornos. Son destacables las detecciones de vapor de agua realizadas en sistemas protoestelares (en la protoestrella Cepheus E hemos detectado vapor de agua en un jet a tan solo mil unidades astronómicas de la misma); en estrellas ricas en carbono (desafiando nuestros conocimientos actuales de la química en estrellas evolucionadas, que predicen la inexistencia de agua en estos objetos), en regiones de formación estelar (Monoceros R2, donde hemos realizado la medición más precisa de la abundancia de agua en este tipo de objetos) y en galaxias externas (detección de agua y agua ionizada en M82).



La nube Monoceros R2 (Cambridge Astronomical Survey Unit).

### COMPLEJIDAD MOLECULAR

Las moléculas detectadas en el espacio hasta la fecha son, por un lado, simples en comparación con las estructuras complejas que hay en la Tierra y, por otro lado, mucho más simples que las moléculas asociadas con la vida (aminoácidos, azúcares, proteínas, etc). Sin embargo, se han encontrado especies exóticas, como aniones y cationes, que están muy poco caracterizadas en los laboratorios.

El equipo ha detectado, por vez primera, numerosas moléculas en el espacio y las ha caracterizado, lo que ha permitido identificar de manera precisa multitud de "líneas no identificadas" o U-lines (*Unidentified lines*) en regiones de formación estelar.

ASTROMOL ha podido identificar por primera vez un tipo de inestabilidades que posibilitan la fragmentación de nubes moleculares por la interacción de intensos campos de radiación. Estas inestabilidades provocan la formación de estructuras de gas en forma de "olas" y han sido identificadas en la nebulosa de Orión.



La nebulosa de Orión (HST/NASA)

### QUÍMICA DEL DEUTERIO

El deuterio posee las mismas propiedades químicas que el hidrógeno, pero con una composición y peso diferentes. La importancia de estudiar especies deuteradas (variantes de metanol y amoníaco, por ejemplo) en regiones de gas muy frío y denso en términos astrofísicos radica en que son trazadoras del gas que forma condensaciones pre-estelares. Nuestro equipo está realizando un estudio detallado de la química que posibilita la aparición de este tipo de moléculas mediante cálculos de mecánica cuántica.

### QUÍMICA EN LAS REGIONES DE FORMACIÓN ESTELAR

Los granos de polvo se encuentran en multitud de objetos, desde las atmósferas de los planetas a los discos protoplanetarios, y permean el medio interestelar. Son partículas de tamaños inferiores a las decenas de micra y se cree que juegan un papel primordial en la abundancia observada de hidrógeno molecular en el espacio.

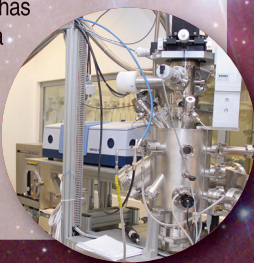
Numerosas reacciones de interés astrofísico ocurren en la superficie de los granos de polvo, pudiendo dar lugar a moléculas complejas e incluso a moléculas de interés prebiótico como los aminoácidos.

Nuestro equipo ha realizado cálculos teóricos de reacciones clave en fase gas (hidrógeno, nitrógeno y oxígeno moleculares con hidrocarburos, por ejemplo) a las temperaturas en las que se forman las estrellas masivas (entre 70 K y 300 K).

También hemos propuesto un nuevo mecanismo para explicar el origen de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) en el medio interestelar: pueden ser producidos en la superficie de los granos de carburo de silicio cuando se exponen a los átomos de hidrógeno a altas temperaturas.

### ESTUDIO DE HIELOS ASTROFÍSICOS EN EL LABORATORIO

En las regiones más densas y frías del medio interestelar, las observaciones en el infrarrojo muestran la presencia de hielos, que en muchas ocasiones se condensan en la superficie de los granos de polvo. Mediante el uso de la cámara de ultra-alto-vacío ISAC (izda), realizamos experimentos de laboratorio que recrean las condiciones del medio interestelar.



### TASAS DE EXCITACIÓN COLISIONAL DE MOLÉCULAS

Es importante conocer con precisión las tasas de excitación colisional en moléculas de interés astrofísico, ya que las nubes moleculares se enfrían después de colisionar moléculas y átomos. El enfriamiento de la nube produce condensaciones que pueden dar lugar a la formación de estrellas. Por lo tanto, la determinación precisa de estas tasas nos permite determinar la temperatura de estos objetos y la abundancia de las moléculas que los componen.

### ATMÓSFERAS PLANETARIAS

Buscamos cuantificar las tasas de excitación colisional de dióxido de carbono y monóxido de nitrógeno con oxígeno atómico a bajas temperaturas y utilizarlas como termómetros de atmósferas planetarias. Por otro lado, hemos encabezado una investigación sobre el origen de una emisión anómala en la atmósfera de Titán, el satélite más grande del Sistema Solar. Los resultados indican que los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) son los responsables de la emisión.

### DESARROLLOS TEÓRICOS

Estamos desarrollando potentes códigos para interpretar y modelizar cómo se propaga la radiación que emiten los objetos observados. Así, el grupo de atmósferas planetarias del Instituto de Astrofísica de Andalucía ha desarrollado el algoritmo GRANADA (*Generic RAdiative traNsfer AnD non-LTE population Algorithm*) para calcular cómo se organizan las moléculas en condiciones de no-equilibrio en atmósferas planetarias.

El grupo de espectropolarimetría del Instituto de Astrofísica de Canarias ha desarrollado técnicas avanzadas para detectar señales espectropolarimétricas en atmósferas estelares, que nos permiten obtener información sobre los campos magnéticos actuantes y la estructura interna de estas regiones. También hemos desarrollado PORTA (*POLarized RAdiative TrAnsfere o Transferencia de Radiación Polarizada*), un programa para resolver en tres dimensiones modelos de atmósferas estelares usando computación paralela para acelerar las soluciones numéricas y, por lo tanto, ahorrar tiempo de cálculo.

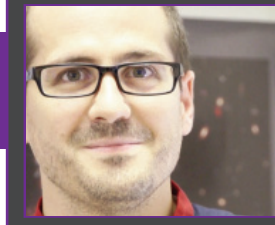




el "Moby Dick" de...

...Alberto Molino (IAG)

## CLASH survey



Alberto Molino (1980) se licenció en Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid. En 2007 se incorporó al IAA para realizar una tesis doctoral sobre la mejora de las técnicas fotométricas empleadas en el cálculo de distancias a otras galaxias. Actualmente comienza una etapa posdoctoral en el IAG (São Paulo, Brasil), participando en los cartografiados extragalácticos ALHAMBRA, CLASH y JPAS.

A un siendo la fuerza más débil de la naturaleza, la gravedad ha sido la gran artífice de la construcción del universo. Apenas unos cientos de miles de años después del Big Bang (una millonésima parte del tiempo actual), la gravedad ya comenzaba a levantar sus castillos, agrupando enormes cantidades de materia. De esa manera, y con el paso de miles de millones de años, el universo fue adoptando una estructura filamentosa, con lugares donde había más materia de lo normal (aglomeraciones) y zonas donde había poca o ninguna.

Cuando el universo se hubo enfriado lo suficiente, estas grandes agrupaciones de materia comenzaron a formar estructuras más pequeñas. Aparecieron así las galaxias, los cúmulos y las primeras generaciones de estrellas. De modo que los grandes cúmulos de galaxias que observamos en el universo nos sirven para conocer no solo cuánta materia hay sino también cómo se distribuye.

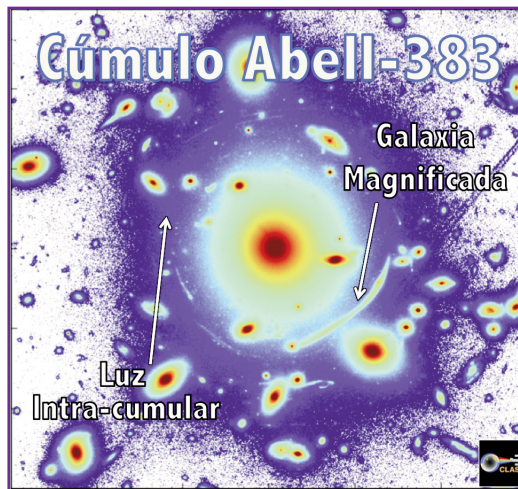
El proyecto *CLASH survey* (en el que el IAA participa) se diseñó para medir, con precisión única, la cantidad de materia oscura del universo. Se seleccionaron veinticinco de los cúmulos más masivos conocidos y se observaron durante unas ochocientas horas con el telescopio espacial Hubble (HST) usando, simultáneamente, las tres cámaras que posee. Y, ¿por qué un telescopio en el espacio y tanta información electromagnética?

Observar con tanto detalle los cúmulos de las galaxias nos permite obtener una gran cantidad de información y generar mapas 3D de los cúmulos. Por otra parte, observar desde el espacio nos permite apreciar detalles morfológicos que serían muy difíciles de observar desde tierra, y que resultan claves para la identificación de la materia oscura. Me explico.

Los cúmulos de galaxias, además de contener grandes cantidades de materia ordinaria (como la que nos constituye), también contienen enormes cantidades de materia oscura que no podemos ver, pero que sí podemos inferir por el efecto que ocasiona en su entorno. Al concentrar tanta materia en una "pequeña" región del universo (como ocurre en los cúmulos), el efecto de la gravedad se vuelve tan intenso que el

propio tejido del cosmos se distorsiona, produciendo lo que se conoce como efecto de lente gravitatoria\*. Este efecto hace que los rayos de luz de una galaxia lejana se desvíen al atravesar dicha región. Dependiendo de la posición relativa entre la gala-

bles fallos, pero ninguna de las hipótesis podía explicar unos resultados tan malos. Los días se sucedían, nuevas imágenes seguían llegando y, lógicamente, la tensión dentro del proyecto aumentaba. Como mi cometido (junto con Txitxo Benítez) era precisamente proporcionar medidas precisas para las distancias, intensificamos el esfuerzo y resolvimos el enigma. Irónicamente, resultó ser que "los árboles no nos estaban dejando ver el bosque": al observar con tanto detalle los cúmulos, la luz intracumular (ICL), compuesta por miles de millones de estrellas flotando entre las galaxias del cúmulo, se volvió tan intensa que contaminaba los colores originales de las galaxias hasta el punto de arruinar las medidas de sus distancias. Para colmo, esta fuente "contaminante" era no solo diferente para cada cúmulo (pues dependía del número de galaxias, de sus posiciones y de sus luminosidades), sino que además



xia lejana, el cúmulo y nosotros, podremos ver anillos o arcos de luz en el cielo. Si somos capaces de conocer con exactitud la posición de las galaxias del cúmulo, así como identificar galaxias lejanas que se han visto distorsionadas al pasar a través, resultará posible conocer cuánta materia contiene el cúmulo y cómo está repartida. Si a esta cantidad total de materia le quitamos la parte correspondiente a las galaxias que sí vemos, nos quedaremos con la que no vemos. Es decir, con la cantidad de materia oscura.

Cuando comenzaron las observaciones del proyecto CLASH en el año 2011, yo me encontraba en la universidad Johns Hopkins (Baltimore, USA) ayudando a preparar las herramientas informáticas para analizar las imágenes. Se esperaba obtener una precisión excelente en el cálculo de las distancias a las galaxias. Sin embargo, cuando las primeras imágenes del HST estuvieron disponibles y empezamos a ejecutar nuestros algoritmos, encontramos que los resultados obtenidos para el cálculo de la distancia a las galaxias eran mucho peores de lo esperado.

Durante meses revisamos todos los posi-

variaba a lo largo de las imágenes y de imagen a imagen. Vamos, un problema multidimensional.

El siguiente paso era identificar la manera más adecuada de substrair la luz ICL para recuperar las propiedades de las galaxias. Decidimos utilizar las imágenes del campo ultraprofundo del HST (UDF) que representan, a día de hoy, las imágenes de mayor calidad de galaxias lejanas del universo. Sobre estas galaxias, primero medimos de forma precisa sus colores naturales. Posteriormente, introdujimos dichas galaxias dentro de las imágenes de CLASH y volvimos a recalcular sus colores. Comparándolos antes y después, fuimos capaces de cuantificar el grado de deterioro/contaminación típica al que estaban sometidas las galaxias de los cúmulos. Efectivamente, era tremendo.

Finalmente, mediante la utilización de algoritmos matemáticos, pudimos encontrar el modelo idóneo de ICL para cada cúmulo, recuperando con precisión los colores originales de las galaxias y, afortunadamente, consiguiendo unos resultados para el proyecto CLASH a la altura de sus expectativas.



# Tras la estela del doctor Plateau

POR ENRIQUE PÉREZ MONTERO (IAA)

La historia de la ciencia está plagada de casos en que los científicos han antepuesto a su propia salud el afán por aumentar el conocimiento y contrastar, mediante arriesgados experimentos, expediciones u observaciones, sus teorías o las de otros. En el caso de la astronomía son conocidos algunos observadores que han arriesgado su propia vista con tal de captar eventos astronómicos. No obstante, probablemente el ejemplo más paradigmático de este sacrificio científico en astronomía no es tal, pues aunque la ceguera que contrajo Galileo Galilei -pionero en el uso del telescopio para el estudio del cielo- se atribuye a la observación directa del Sol, la pérdida de visión le sobrevino muchos años después de dichas observaciones y siendo ya un anciano septuagenario retirado en su mansión. Se sospecha, en cambio, que Galileo perdió la vista debido a algún proceso de glaucoma o de cataratas.

Parece que en fechas tan tempranas como el siglo XIII, el astrónomo francés Guillermo de Saint Cloud ya puso de manifiesto por escrito la inconveniencia de la observación directa del Sol. A pesar de sus recomendaciones hay constancia de que algunos astrónomos posteriores han sufrido de manera temporal los excesos en la observación directa del astro rey. Tal es el caso de un contemporáneo de Galileo, el inglés Thomas Harriott, que pudo incluso apuntar con su telescopio refractor hacia el cielo antes incluso que el célebre físico italiano. Harriott fue el primero en informar de la presencia de manchas solares, lo que contribuyó a desterrar la idea de Aristóteles de la inmutabilidad de los cielos. Harriott sufrió una ceguera temporal debida a la observación directa y excesiva del Sol. Lo mismo acaeció a uno de los mayores genios de la ciencia en la historia de la humanidad: Isaac Newton, a quien en su juventud se le ocurrió “experimentar” con su propia vista para comprobar cuánto tiempo podía aguantar mirando sin pestañear a nuestra estrella. Aunque aquella experiencia le provocó problemas oculares, ninguno que se conozca fue permanente.

Otro de los casos notables de los sacrificios por la astronomía le ocurrió al físico belga Joseph Plateau (1801-1883). Plateau realizó

un experimento similar al de Newton, observando durante veinticinco segundos el Sol de manera directa. A raíz de aquello perdió parcialmente la vista de manera temporal por unos días. Pero pasado ese período se recuperó y pudo seguir dedicándose a la ciencia de manera más que brillante.

Desgraciadamente, a los treinta y nueve años Plateau sufrió un rápido proceso degenerativo



Joseph Plateau

ocular que le llevó a perder en poco tiempo la visión de ambos ojos y que Plateau achacaría a sus experimentos con el Sol. Sin embargo, se piensa que la ceguera de Plateau pudo ser debida a una uveitis crónica no relacionada con sus observaciones. Pero el hallazgo de la verdadera causa de la ceguera de Plateau es relativamente reciente y siempre se ha puesto a Plateau, al igual que a Galileo, como ejemplos de sacrificados científicos que dieron su vista para mayor gloria de la ciencia.

## Un científico multidisciplinar

Plateau no había sido un astrónomo propiamente dicho, sino un físico experimental y durante la etapa previa a la pérdida de la visión destacan, curiosamente, sus trabajos sobre la percepción visual, incluyendo artículos sobre la percepción de los colores, la geometría de ciertas curvas que aparecen como consecuencia del movimiento de líneas iluminadas o sobre la persistencia de la imagen en la retina (postuló que los tiempos

necesarios para que una imagen quede impresionada y después se borre de la retina son pequeños, pero no despreciables, y que son diferentes entre sí). Esos estudios le llevaron a explicar de manera lógica numerosas ilusiones ópticas relacionadas con cuerpos en movimiento, como el aspecto lineal de las gotas de lluvia, de las ruedas rotando de los vehículos o incluso la estela de los fuegos

artificiales o las estrellas fugaces. Estas experiencias y sus conclusiones llevaron a Plateau a idear el antecesor del cinematógrafo, mediante una sucesión de imágenes fijas que dan lugar a la apariencia de una escena en movimiento. En su honor, los premios de la Academia belga de cine llevaron su nombre entre 1985 y 2006.

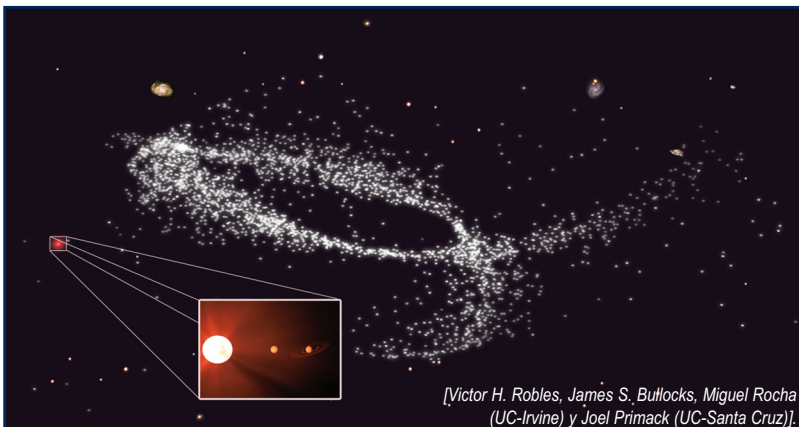
A partir de 1845 la vida profesional de Plateau no se detuvo a causa de la ceguera. El apoyo y la colaboración de sus colegas y de sus familiares se volvió imprescindible, pero consiguió que el gran talento y capacidad para diseñar experimentos, analizar resultados y exponerlos de manera sencilla y convincente del gran físico belga no se viera mermada durante los siguientes cuarenta años. Destaca la labor de su esposa, que actuaba de lectora y escribiente, de su hermana, ilustradora de sus publicaciones, o de su yerno, que le ayudaba en las exposiciones y acabó

siendo su biógrafo. En esta etapa las contribuciones de Plateau al conocimiento de la capilaridad y la tensión superficial de los líquidos o al planteamiento matemático del llamado problema de Plateau (¿cuál es la superficie mínima que crea una curva dibujada en un plano cuando la hacemos rotar alrededor de alguno de los ejes contenidos en el plano?) resultaron de gran valor para el avance la física experimental y las matemáticas en la segunda mitad del siglo XIX.

Por tanto, Joseph Plateau es un ejemplo para todas las personas con discapacidad visual. Su entusiasmo, fuerza vital, optimismo y espíritu de superación, subrayados por su yerno Gustaf Van der Mensbrughe en su biografía, contagiaron a sus profesores, colegas y estudiantes. Sus contribuciones a diversos campos de la física y las matemáticas, entre ellos de la percepción visual, son reconocidos aún actualmente y, aunque probablemente no pueda ser considerado como un verdadero mártir de la ciencia, su ejemplo debe ser difundido y recordado.



## Mundos antiguos en torno a una estrella "foránea"



[Victor H. Robles, James S. Bullocks, Miguel Rocha (UC-Irvine) y Joel Primack (UC-Santa Cruz)].

Se han hallado dos planetas en torno a la estrella de Kapteyn que, posiblemente, formaba parte de una galaxia satélite que fue absorbida por la Vía Láctea

► Un grupo internacional de astrónomos ha hallado dos planetas en torno a la estrella de Kapteyn, una estrella cercana al Sol con una historia peculiar, ya que posiblemente formaba parte de una galaxia satélite que fue absorbida por la Vía Láctea. Con una edad estimada de unos once mil quinientos millones de años, el sistema planetario de Kapteyn constituye uno de los más antiguos conocidos.

“La mayoría de los planetas detectados en torno a otras estrellas, muchos de ellos gigantes gaseosos, se halla a cientos de años luz de la Tierra -destaca Pedro J. Amado, investigador del IAA-CSIC que

participa en el hallazgo-. El desafío, a día de hoy, reside en encontrar planetas de tipo rocoso que se hallen en la zona de habitabilidad, la región alrededor de una estrella donde un planeta puede albergar agua líquida”.

Y la estrella de Kapteyn que, con una distancia de solo trece años luz, constituye la vigesimoquinta estrella más cercana a la Tierra, reúne ambos requisitos. Su sistema planetario se compone de Kapteyn b, un planeta unas cinco veces más masivo que el nuestro que gira en torno a la estrella cada cuarenta y ocho días, y de Kapteyn c que, con

Simulación que muestra un evento similar al que pudo sufrir la galaxia satélite a la que pertenecía la estrella de Kapteyn.

unas siete masas terrestres, muestra un periodo de ciento veintidós días.

El primero, Kapteyn b, constituye el ejemplar más prometedor, ya que se halla en la franja de habitabilidad. Pero para confirmar que, en efecto, se trata de un mundo con agua, se requiere instrumentación aún en desarrollo.

El hallazgo ha sido posible gracias al espectrógrafo HARPS, situado en el Observatorio de La Silla (ESO) en Chile. “A día de hoy resulta muy complejo descartar falsos positivos en la búsqueda de exoplanetas, de ahí que los datos de HARPS hayan debido complementarse con otros dos espectrógrafos -destaca Pedro J. Amado (IAA)-. Podremos paliar este problema gracias a CARMENES, un instrumento que estamos desarrollando para el Observatorio de Calar Alto y que, al observar tanto en el visible como en el infrarrojo, permitirá descartar falsos positivos de manera inmediata”.

### Una historia convulsa

Al margen de su posible habitabilidad, estos planetas resultan interesantes debido a su inusual historia. La estrella de Kapteyn forma parte de un grupo de estrellas (denominado grupo de Kapteyn) situadas en el halo de la Vía

Láctea, una estructura esférica que envuelve toda la galaxia. El grupo forma una especie de corriente que gira a una velocidad de doscientos noventa kilómetros por segundo en torno al centro de la Vía Láctea, pero en sentido contrario al del resto de componentes de la galaxia.

Su dinámica y velocidad apuntan a que el grupo de Kapteyn constituye un jirón de una galaxia menor que fue despedazada y absorbida por la Vía Láctea. Esta hipótesis, que exige para la estrella de Kapteyn una edad de más de diez mil millones de años -como comparación, el Sol solo tiene cinco mil millones-, se corresponde también con las características de la estrella (baja metalicidad y poca actividad), que sugieren que se trata de una estrella muy vieja.

Así, este sistema planetario podría haber surgido en las primeras etapas de la formación de las galaxias y sobrevivido a un proceso de canibalismo galáctico, lo que lo convierte en una fuente de información fundamental sobre la formación de planetas.

“Las estrellas de baja masa como la de Kapteyn -con apenas un tercio la masa del Sol- pueden ser muy longevas, tanto incluso como para tener casi la edad del universo. En ningún otro tipo de estrellas podríamos estar estudiando la evolución de sistemas planetarios tan viejos, porque para entonces la estrella ya se habría convertido en una gigante roja y engullido los planetas en su zona habitable, como lo hará el Sol con la Tierra”, concluye Amado (IAA-CSIC).

## El instrumento español IMaX revela cómo nacen y evolucionan las estructuras magnéticas en el Sol

IMaX, a bordo de la misión SUNRISE -un telescopio que observó el Sol desde un globo estratosférico en el Ártico-, ha observado la formación y evolución de un tubo magnético en la superficie solar

► El magnetógrafo IMaX, un instrumento desarrollado íntegramente en España, ha desvelado cómo se forman y evolucionan los tubos de flujo en el Sol, considerados los ladrillos del magnetismo solar y cuya existencia se había demostrado solo de forma indirecta debido a su redu-

cido tamaño. La inigualable resolución obtenida por la misión SUNRISE ha permitido seguir por primera vez la evolución de uno de estos tubos, que ha resultado diferente a lo que se proponía hasta ahora. El instrumento IMaX se diseñó para abordar uno de los mayores desafíos



de la astrofísica actual, el campo magnético solar, que se manifiesta de muy variadas formas, como el ciclo de once años, las manchas o las tormentas solares. Hoy día se considera la clave para profundizar en el conocimiento del Sol y predecir cómo se va a comportar y en qué medida nos afectará. Y los tubos magnéticos, con un tamaño de pocos cientos de kilómetros, resultan esenciales en este escenario, ya que se cree que las grandes estructuras, como las manchas, se forman

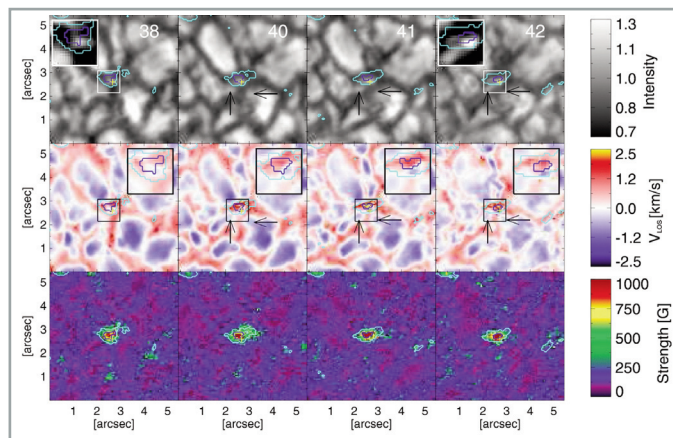


a partir de elementos más pequeños.

### Una evolución inesperada

Vista a escala de unos mil kilómetros, la superficie del Sol aparece dominada por la granulación, un fenómeno convectivo similar al burbujeo del agua al hervir: gas caliente y menos denso asciende hacia la superficie y, al enfriarse, aumenta su densidad y desciende.

“Entre los gránulos encontramos concentraciones débiles de campo magnético -señala Iker S. Requerey, investigador del IAA que encabeza el estudio-. Los gránulos convergen hacia un centro al que arrastran los pequeños campos, que se aglutinan e intensifican, dando lugar a un tubo magnético”. En esta primera fase, reconocida en la



Serie temporal que muestra la concentración de campo magnético en el tubo estudiado por IMAx.

teoría pero observada por primera vez gracias a este trabajo, el tubo presenta poca energía magnética. Sin embargo,

como el campo magnético frena la convección, el gas en el interior del tubo se enfría y desciende, lo que pro-

duce que el tubo se estreche y aumente la intensidad del campo magnético.

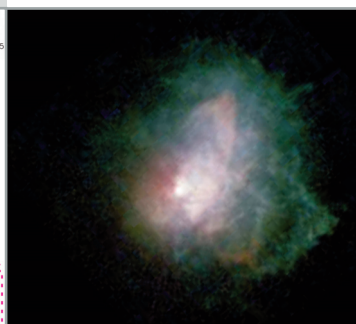
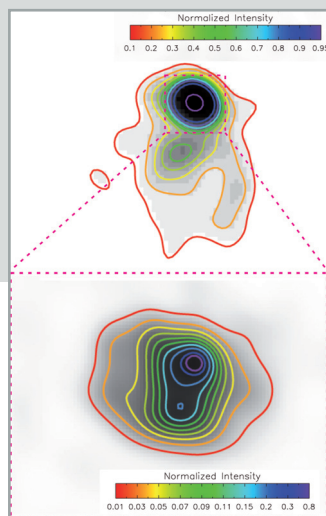
“Parecía que el desarrollo de los tubos terminaba ahí, pero hemos comprobado que no se trata de estructuras estables”, destaca Jose Carlos del Toro Iniesta, investigador del IAA-CSIC que dirige la tesis de Iker Requerey. Al contrario, la serie temporal de veintitrés minutos obtenida por IMAx/Sunrise muestra que el tubo exhibe un carácter oscilatorio, ganando y perdiendo intensidad con el tiempo. “No solo hemos sido capaces de observar la secuencia por primera vez, sino que además hemos hallado una fase posterior y desconocida que merece ser estudiada”, concluye Del Toro. **SLL (IAA)**

## Investigadores del IAA ganan el Beauty Contest para la obtención de imágenes interferométricas en el óptico/infrarrojo

La interferometría consiste en observar el mismo objeto con varias antenas separadas geográficamente, con lo que se obtiene el equivalente a un telescopio del tamaño de la distancia que separa las antenas

► En las llanuras de San Agustín (Nuevo México, EEUU), veintisiete radioantenas independientes observan el universo al unísono y funcionan como un único radiotelescopio de treinta y seis kilómetros de diámetro. Se trata del *Very Large Array*, uno de los ejemplos de la extraordinaria eficacia de la interferometría en radio. La comunidad astronómica internacional busca aplicar esta técnica con la misma eficacia a longitudes de onda menores, como el óptico y el infrarrojo, y para ello lleva organizándose desde 2004 y bianualmente el *Beauty Contest*, que este año han ganado investigadores del IAA.

“La distorsión que produce la atmósfera terrestre en el óptico y el infrarrojo dificulta el desarrollo de la interferometría



Izda. la imagen de VY Canis Majoris ganadora a la mejor reconstrucción a partir de los datos de PIONIER del VLTI. Dcha. La misma estrella fotografiada por el telescopio espacial Hubble.

en estas longitudes de onda, para las que además no podemos emplear los algoritmos de reconstrucción de las imágenes que empleamos en radio”, apunta Joel Sánchez, investigador del IAA que ha presentado la propuesta ganadora.

En interferometría en radio la combinación de los datos obtenidos con los diferentes telescopios y la reconstrucción de imágenes a partir de ellos constituye un procedimiento asentado, pero en óptico e infrarrojo aún no disponemos de las herramientas idóneas. Desde 2001, la Unión Astronómica Internacional promueve el desarrollo de

algoritmos que permitan reconstruir imágenes fielmente a partir de los datos interferométricos, y entre las iniciativas destaca el *Beauty Contest*.

En la edición de 2014, los concursantes han recibido datos obtenidos con el instrumento PIONIER, que combina cuatro telescopios ópticos de dos metros de diámetro, del *Very Large Telescope Interferometer* (VLTI). Los datos correspondían a dos objetos: R Carinae, una estrella variable que presenta emisiones periódicas de material, y VY Canis Majoris, una estrella supergigante roja que muestra una densa envoltura de polvo y una alta tasa de pérdida de masa.

Los diez grupos participantes, de instituciones como la Universidad de Cambridge, el Observatorio Europeo Austral o el Instituto Max-Planck de Astronomía, desarrollaron sus propios algoritmos para combinar y analizar los datos y obtener una única imagen de R Carinae y de VY Canis Majoris. La organización del congreso combinó las imágenes de cada objeto sometidas a concurso, lo que permitió obtener una imagen media que mostrara las características más notorias de cada estrella y descartara señales erróneas.

Esta imagen media mostraba, para R Carinae, dos regiones brillantes en la superficie estelar y una marcada estructura con forma de cascarón alrededor de la estrella, y para VY Canis Majoris una fotosfera -algo así como la “atmósfera” de la estrella- alargada y dos regiones brillantes próximas al limbo.

El grupo ganador fue el que presentó las imágenes que mostraban de forma más fidedigna estas estructuras características, y el premio recayó en el grupo de Interferometría Óptica del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) formado por Joel Sánchez, Antxon Alberdi y Rainer Schödel. “Joel tiene una gran habilidad para el manejo de algoritmos, Rainer es un experto en emisión infrarroja y yo llevo muchos años trabajando en interferometría radio, y nuestras capacidades han convergido muy bien”, destaca Antxon Alberdi (IAA-CSIC).

**Silbia López de Lacalle (IAA)**



# Descifradas las ondas atmosféricas de Venus, una de las claves para comprender la superrotación de su atmósfera

La atmósfera de Venus muestra velocidades de hasta sesenta veces la de su superficie, un fenómeno conocido como superrotación cuyo origen aún no cuenta con una explicación satisfactoria

► El planeta Venus gira muy lentamente sobre sí mismo, tanto que un día allí dura doscientos cuarenta y tres días terrestres. Pero su atmósfera, que debería rotar también despacio, circunda el planeta en apenas cuatro días. El motor que origina y mantiene esta superrotación atmosférica aún se desconoce, aunque las numerosas ondas que pueblan la atmósfera del planeta podrían jugar un papel importante. Un estudio ha identificado la naturaleza de estas por primera vez. “Venus es un quebradero de cabeza para los especialistas en dinámica atmosférica. Sus vientos superan los cuatrocientos kilómetros por hora, sesenta veces más que la velocidad de rotación del planeta -como comparación, los vientos más veloces en la Tierra están muy por debajo de su velocidad de rotación-”, apunta Javier Peralta, investigador del IAA que encabeza el estudio. “Pero tras treinta años de investigación, hoy en día seguimos sin un modelo físico que

reproduzca fielmente la superrotación de Venus”, destaca el investigador. Las ondas atmosféricas, que muestran una extraordinaria variedad y actividad, constituyen una pieza clave para describir la circulación de la atmósfera de Venus, pero su naturaleza y propiedades eran desconocidas. La razón de este desconocimiento se debe sobre todo a que el funcionamiento de la atmósfera de Venus difiere drásticamente de la de planetas que rotan más rápido, como Marte o la Tierra: mientras que en la primera el viento tiene un papel predominante en el equilibrio de la presión atmosférica, en las segundas es la rotación el factor dominante. “Por primera vez, hemos deducido todas las ondas atmosféricas que son solución de las ecuaciones de movimiento propias de Venus, lo que a su vez ha permitido que podamos identificar la naturaleza de las ondas que vemos en las observaciones de la misión Venus Express”, señala Javier



La sonda Venus Express, sobre una imagen real de las ondas atmosféricas de Venus.

Peralta (IAA-CSIC). El trabajo, que ha catalogado un total de seis tipos diferentes de ondas y ha predicho sus características, ofrece una herramienta sistemática de clasificación de ondas, y permitirá estimar su papel en el transporte, creación y disipación de energía en la atmósfera. “Algunas de las ondas que hemos encontrado, como las acústicas o las de gravedad, tienen propiedades prácticamente idénticas a las que hay en la Tierra -destaca Javier Peralta (IAA-CSIC)-. Sin embargo, otras no existen en nuestro planeta, como las que hemos llamado ondas centrífugas,

que explican las oscilaciones de doscientos cincuenta y cinco días que se ven en los vientos de Venus”. Este trabajo no solo permitirá afrontar un estudio profundo de las ondas en la atmósfera de Venus, sino también en la de Titán, la mayor luna de Saturno, que también presenta una atmósfera superrotante. Asimismo, las conclusiones de la investigación son aplicables a muchos planetas en torno a otras estrellas que, según los datos disponibles, podrían mostrar también superrotación.

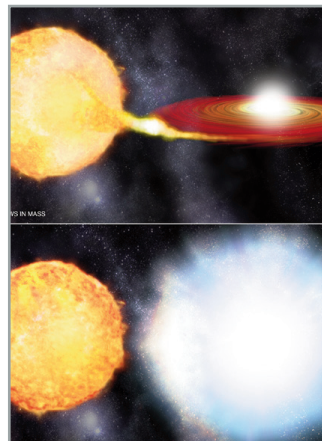
Silbia López de Lacalle (IAA)

# Las supernovas de tipo Ia proceden de la explosión de una enana blanca acompañada de una estrella gemela

De generalizarse estas conclusiones, las supernovas de tipo Ia podrían no servir como “candelas estándar” para medir distancias astronómicas

► Las supernovas de tipo Ia tienen lugar cuando una enana blanca, el “cadáver” de una estrella similar al Sol, absorbe material de una estrella compañera y alcanza una masa crítica, equivalente a 1.4 masas solares, lo que desencadena una explosión cuya luminosidad será, dado su origen, similar en casi todos los

casos. Esta uniformidad convirtió a las supernovas de tipo Ia en los objetos idóneos para medir distancias en el universo, pero el estudio de la supernova 2014J sugiere que podría haber diferentes caminos para que se produzcan este tipo de explosiones, lo que pone en cuestión su uso como “candelas estándar”.



“Si hay distintos orígenes también habrá variaciones en brillo. Hasta ahora habíamos corregido empíricamente las diferencias de brillo, lo que permitió descubrir la expansión acelerada del universo. Sin embargo, para hacer cosmología de precisión probablemente necesitemos identificar el origen de cada supernova Ia, y aún no hemos llegado a ese nivel de comprensión”, señala Miguel Ángel Pérez Torres, investigador del IAA que encabeza el estudio.

Al modelo predominante hasta

Concepción artística de la explosión de una supernova de tipo Ia a partir de una enana blanca y una estrella normal. Fuente: NASA/CXC/M Weiss.



ahora, formado por una enana blanca y una estrella normal, se suma otro que plantea la fusión de dos enanas blancas, un escenario que no implica la existencia de un límite máximo de masa y, por tanto, no producirá necesariamente explosiones con la misma luminosidad.

### SN 2014J, una supernova muy cercana

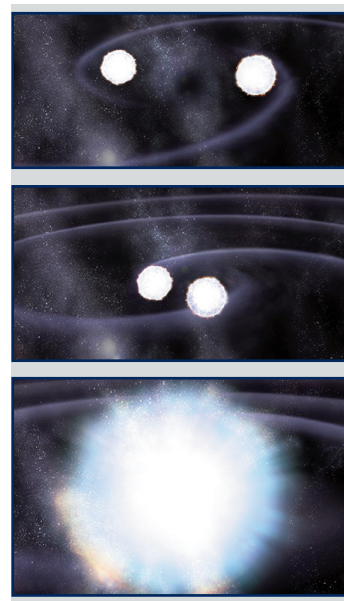
Los resultados derivan del estudio de la supernova 2014J, situada a 11.4 millones de años luz de la Tierra, mediante las redes de radiotelescopios EVN y eMERLIN. "Se trata de un fenómeno que se produce con muy poca frecuencia en el universo local. 2014J es la super-

nova tipo Ia más cercana a nosotros desde 1986, cuando los telescopios eran mucho menos sensibles, y puede que la única que podamos observar tan cerca de nosotros en los próximos ciento cincuenta años", apunta Pérez Torres (IAA-CSIC). La observación en radio permite desvelar qué sistema estelar se halla tras una supernova de tipo Ia. Por ejemplo, si la explosión procede de una enana blanca absorbiendo gas de una estrella compañera, se espera que haya una gran cantidad de gas en el entorno; al producirse la explosión, el material expulsado por la supernova chocará con ese gas y producirá intensa emisión en rayos X y radio. Por el contrario, una

pareja de enanas blancas no generará esa envoltura gaseosa y, por tanto, no habrá emisión en rayos X y radio.

"No hemos detectado emisión en radio en SN 2014J, lo que favorece el segundo escenario", apunta Pérez Torres. "De generalizarse este resultado, las consecuencias cosmológicas son muy potentes, porque el uso de las supernovas de tipo Ia para medir distancias astronómicas quedaría cuestionado", concluye el investigador.

Concepción artística de la explosión de una supernova de tipo Ia a partir de dos enanas blancas. (NASA/CXC/M Weiss)



## Se observan signos de la formación de un sistema planetario en torno a la estrella HD169142

La joven estrella HD169142 muestra un disco de gas y polvo donde se aprecian dos cavidades en forma de anillo, posiblemente debidas a la formación de sendos planetas

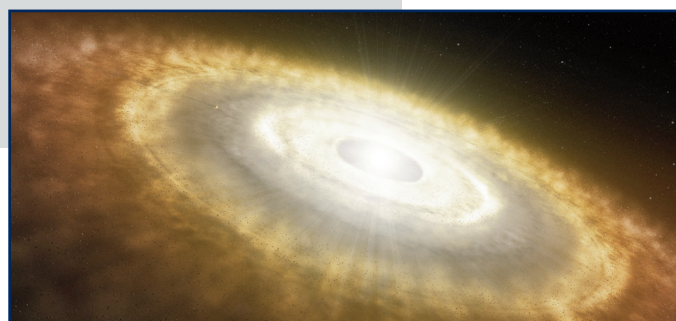
► Los planetas se forman a partir de discos de gas y polvo que giran en torno a las estrellas jóvenes. Una vez formada la "semilla" del planeta, una pequeña acumulación de polvo, este irá agregando material y producirá un surco en el disco con la forma de su órbita. Esta etapa de transición entre el disco original y el sistema planetario -difícil de estudiar y aún poco conocidas, precisamente, lo que se ha observado en la estrella HD169142 y que se ha difundido a través de dos artículos publicados en la revista *The Astrophysical Journal Letters*.

"Aunque en los últimos años se han descubierto más de mil setecientos planetas extrasolares, solo en contados casos se ha obtenido imagen directa y todavía no se ha logrado una imagen inequívoca de un planeta en formación -apunta Mayra Osorio, investigadora del Instituto de IAA que encabeza una de las publicaciones-. En HD 169142 quizás estamos viendo, precisamente, las semillas de gas y polvo que más

tarde se convertirán en planetas". HD169142 es una estrella joven, con dos veces más masa que el Sol y cuyo disco se extiende unas doscientas cincuenta unidades astronómicas, o UA (una unidad que equivale a la distancia entre la Tierra y el Sol, ciento cincuenta millones de kilómetros). El sistema presenta una orientación inmejorable para el estudio de los planetas en formación ya que vemos su disco de frente.

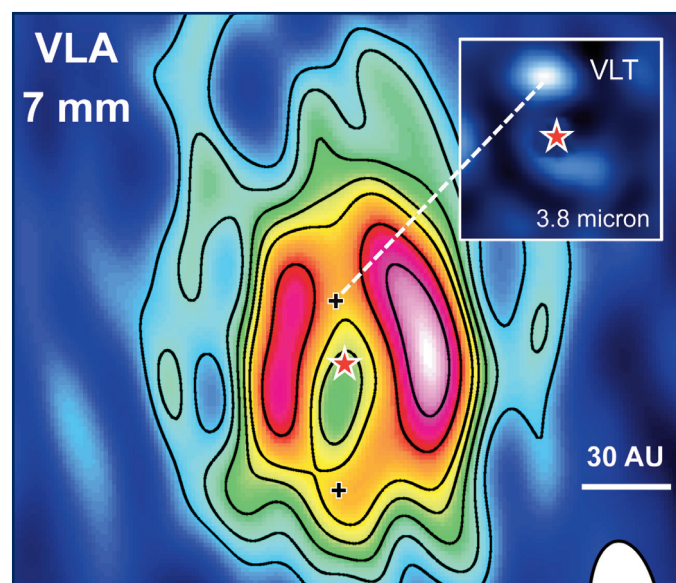
El primero de los trabajos explora el disco de HD169142 con el radiotelescopio Very Large Array, que permite detectar granos de polvo de varios centímetros. Los resultados, combinados con datos del infrarrojo, que trazan la presencia de granos de polvo microscópicos, muestran dos surcos en el disco, uno en la región interna (entre 0,7 y 20 UA) y otro más externo y menos desarrollado, entre 30 y 70 UA.

"Esta estructura ya sugería que el disco está siendo modificado por dos planetas u objetos subestelares, pero además los datos en radio desvelaron la existencia de un grupo de



Arriba: concepción artística de un disco protoplanetario en torno a una estrella joven. Fuente: L. Calçada (ESO).

Debajo: Imagen del disco de polvo en torno a la estrella HD 169142 obtenida con el radiotelescopio VLA a 7 mm. Las cruces (+) señalan las posiciones de los posibles protoplanetas. En el recuadro de la parte superior derecha se muestra, a la misma escala, la imagen obtenida con el VLT a 3.8 micras, de la fuente infrarroja brillante situada en la cavidad interna del disco.





material en el surco externo, situado aproximadamente a la distancia de la órbita de Neptuno, que apunta a la existencia de un planeta en formación", señala Mayra Osorio (IAA-CSIC).

### Uno (o dos) compañeros en torno a HD169142

El segundo de los trabajos se centró en buscar, mediante observaciones en el infrarrojo con el *Very Large*

*Telescope*, la existencia de algún objeto en los surcos del disco. Y hallaron una señal intensa en la cavidad interna, que podría corresponder a un planeta en formación o a una enana marrón (una especie de estrella "fallida", que no alcanzó la masa necesaria para desencadenar las reacciones nucleares que caracterizan a las estrellas).

Los datos en el infrarrojo no mostraron, sin embargo, la presencia del

objeto en el surco externo que sugerían las observaciones en radio. Esta no detección podría deberse a limitaciones técnicas y ha servido para acotar las características de un posible objeto: los investigadores calculan que un objeto con una masa entre una décima y dieciocho veces la masa de Júpiter rodeado de una envoltura fría podría haber pasado desapercibido en la longitud de onda observada.

"En futuras observaciones podremos comprobar si el disco alberga uno o dos objetos. En cualquier caso, HD 169142 constituye un objeto prometedor porque se trata de uno de los pocos discos de transición conocidos y nos está descubriendo el entorno en el que se forman los planetas", concluye Mayra Osorio (IAA-CSIC).

Silbia López de Lacalle (IAA)

## El Observatorio de Calar Alto instala un nuevo sistema de detección de meteoroides



Bólide detectado el 3 de septiembre de 2014 con las cámaras de vigilancia externa del Observatorio de Calar Alto.

Un sistema de cinco cámaras monitoriza el cielo durante toda la noche y permite identificar de forma automática la entrada de meteoroides en la atmósfera terrestre

► La Tierra, en su movimiento alrededor del Sol, intercepta cada año entre 40.000 y 80.000 toneladas de meteoroides, fragmentos de materiales desprendidos de asteroides, cometas u otros planetas. Dependiendo de su tamaño, se desintegran en la atmósfera o alcanzarán la superficie terrestre. El Observatorio de Calar Alto contribuirá a un mejor seguimiento de estos fenómenos gracias a una estación de detección de meteoros formada por

cinco cámaras CCD de alta sensibilidad, que permite identificar de forma automática la entrada de meteoroides.

"En Calar Alto ya hemos detectado anteriormente bólidos gracias a las cámaras de vigilancia externa y hemos difundido las imágenes a través de la página web, pero esta estación supone un importante avance en la capacidad del observatorio para el estudio de estos fenómenos", señala Jesús Aceituno, vicedirector del

Observatorio de Calar Alto.

Los equipos forman parte del proyecto SMART, que se desarrolla bajo la dirección científica de José María Madieto (Universidad de Huelva) con la colaboración del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). La nueva estación de meteoros de Calar Alto trabaja de manera conjunta con las otras siete estaciones que forman parte del proyecto SMART en Andalucía y Castilla La Mancha, y con el resto de estaciones de meteoros que la Red Española de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos tiene instaladas en otros puntos del país.

Gracias a los equipos CCD instala-

dos en Calar Alto se puede calcular la órbita que siguen los meteoroides, de manera que puede determinarse de qué objetos del Sistema Solar proceden. En caso de que estos materiales impacten contra el suelo se podrá determinar en qué lugar han caído los meteoritos, de manera que se podrán recuperar y analizar las rocas. Estos sistemas de detección permiten, además, obtener el espectro de emisión de los bólidos que se registran, pues gracias al uso de redes de difracción permiten descomponer la luz que emiten los meteoroides al desintegrarse en la atmósfera. De esta manera se puede determinar la composición química de estos fragmentos de materia interplanetaria.

### Meteoroides, bólidos y meteoritos

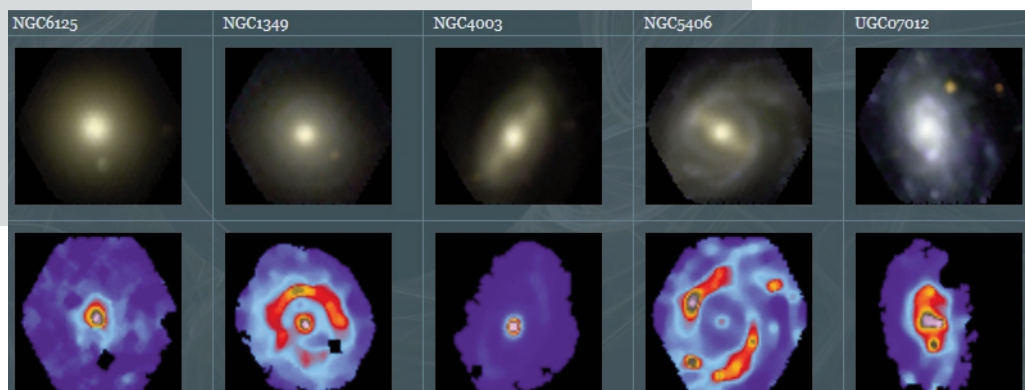
La mayoría de estos fragmentos no alcanzan la superficie terrestre, debido a que los meteoroides impactan contra la atmósfera a grandes velocidades (entre once y setenta y tres kilómetros por segundo). Esta brusca entrada calienta su superficie, que en pocas décimas de segundo alcanza una temperatura de varios miles de grados centígrados, y el objeto comienza a perder masa en forma de fragmentos sólidos, materia fluida o gas caliente. Durante este proceso se genera luz y calor, un fenómeno luminoso conocido como meteorito. Los meteoros más brillantes (con un brillo superior a una magnitud estelar de -4) los producen los meteoroides de mayor tamaño y reciben el nombre de bólidos. Cuando una parte del material que forma el meteorito consigue sobrevivir a su brusco paso a través de la atmósfera y alcanza el suelo, el fragmento que sobrevive se denomina meteorito.



# Una visión sin precedentes de doscientas galaxias del universo local

Segunda emisión pública de datos de CALIFA, un muestreo de galaxias desarrollado en el Observatorio de Calar Alto

► Las galaxias son el resultado de un proceso evolutivo de miles de millones de años, y su historia se halla codificada en sus distintos componentes. El proyecto CALIFA ha asumido la labor de descodificar esa historia, en una suerte de arqueología galáctica, a través de la observación en 3D de una muestra de seiscientas galaxias. Con la emisión pública de los datos correspondientes a doscientas galaxias, el proyecto alcanza su ecuador con importantes resultados a sus espaldas. “Los datos de las primeras cien galaxias que publicamos en noviembre de 2012 ya han superado las siete mil descargas y han producido una gran variedad de resultados, tanto dentro como fuera de la colaboración CALIFA -destaca Sebastián Sánchez, investigador que encabeza el proyecto-. Con más de treinta publicaciones científicas, más de cien presentaciones en congresos y cinco tesis defendidas, este proyecto es el más productivo de cuantos se han desarrollado en el observatorio de Calar Alto. Esta emisión de datos supone un nuevo hito en el proyecto, que ya constituye un referente internacional en muestreos extragalácticos”.



## Resultados

El proyecto CALIFA no solo permite conocer las galaxias con un nivel de detalle hasta ahora inconcebible, sino que también aporta datos sobre la evolución de cada galaxia en el tiempo: indica cuándo y cuánto gas se convirtió en estrellas en cada etapa y cómo evolucionó cada región de la galaxia a lo largo de doce mil millones de años. Gracias a los datos de CALIFA, los investigadores han podido extraer la historia de la evolución en masa, brillo y elementos químicos de la muestra de galaxias. Así se ha podido comprobar que las galaxias más masivas crecen más rápido que las menores, y que además lo hacen de dentro afuera, formando las regiones centrales en primer lugar. También se han obtenido resultados sobre cómo se producen, dentro de las galaxias, los elementos químicos necesarios para la vida, o sobre los fenóme-

nos involucrados en las colisiones galácticas. Incluso ha podido observarse directamente la última generación de estrellas que se ha formado y que aún se halla dentro de su nido de formación.

“CALIFA es un proyecto internacional que va a representar la referencia en su campo para la próxima década. Este legado se ofrece a la comunidad científica desde el observatorio de Calar Alto y muestra su enorme potencial para la investigación astrofísica de primer nivel”, apunta José Manuel Vilchez, investigador del IAA de participa en el proyecto.

## Un muestreo único

El proyecto CALIFA, concebido desde el Instituto de Astrofísica de Andalucía y desarrollado desde el Observatorio de Calar Alto, combina las ventajas de las dos técnicas de observación empleadas hasta la fecha: la toma de imáge-

nes, que aporta información detallada sobre la estructura galáctica, y la espectroscopía, que revela las propiedades físicas de las galaxias (composición química, edad, etc).

CALIFA aplica la tecnología IFS -acrónimo en inglés de “espectroscopía de campo integral”-, que permite tomar unos mil espectros por galaxia, lo que ha permitido obtener una visión panorámica de las galaxias. Se trata del primer estudio IFS diseñado de manera explícita como un proyecto de tipo legado y, cuando culmine, será el mayor estudio de este tipo que jamás se haya completado.

Este proyecto único en el mundo ha sido posible gracias a la combinación de la potencia colectora de luz del telescopio de 3,5 metros del observatorio de Calar Alto con el gran tamaño del campo de visión del espectrógrafo PMAS/PPAK y las noches reservadas al proyecto. **SLL (IAA)**

## EN BREVE:

### Se obtienen las características de ciento treinta y dos objetos transneptunianos

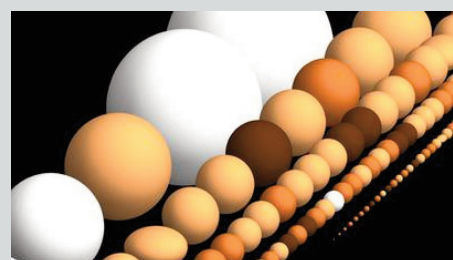
► El observatorio espacial Herschel de la ESA ha estudiado 132 de los 1.400 objetos que se conocen más allá de la órbita de Neptuno, a unos 4.500-7.500 millones de kilómetros del Sol. Entre estos objetos transneptunianos, o TNOs por sus siglas en inglés, se encuentran cuerpos notables como Plutón, Eris, Haumea o Makemake.

Este estudio hizo posible determinar las dimensiones y los albedos -la fracción de la luz visible que refleja su superficie- de los TNOs, propiedades que serían muy difíciles de obtener por otros medios.

Lo que más llama la atención es su gran diversidad. Los TNOs oscilan entre los 50 y los 2.400 kilómetros de diámetro, siendo Plutón y Eris los de mayor tamaño. Dos de ellos tienen una forma marcadamente ovalada: Haumea y Varuna. Algunos de ellos incluso tienen su propio sistema de lunas.

El estudio del albedo permite sacar conclusiones sobre la composición de sus superficies. Un albedo bajo (representado en marrón) indica que la superficie está formada por materiales oscuros, como compuestos orgánicos, mientras que un albedo alto (blanco) sugiere que está cubierta de hielo puro.

Varios investigadores del Instituto de Astrofísica de Andalucía participan en el proyecto *TNOs are cool*.





# SALA limpia

por Miguel Abril (IAA)



## la respuesta:

**¿Cómo almacenarías la receta de las torrijas de tu abuela para estar seguro de que los nietos de los nietos de tus nietos podrán seguir tomándolas en Semana Santa?**

- A. En un trozo de papel, por supuesto.**
- B. En una cinta magnética, por supuesto.**
- C. En un disco duro, por supuesto.**
- D. En un *pen drive*, por supuesto.**
- E. En la nube, por supuesto.**

**I**maginad que estáis haciendo una limpieza de las gordas, de las de llegar hasta el fondo de los armarios, y os topáis con esa cinta de grandes éxitos de los ochenta que en vuestra adolescencia era una de vuestras posesiones más preciadas. "¡Qué fuerte, hermanos, qué fuerte!", que diría Nacho Dogan. Aparte de descubrir que vuestro movimiento de cadera no es tan irresistible como os parecía entonces, seguramente notaréis que el sonido es bastante malo porque, a pesar de que solo han pasado unas pocas décadas, el soporte magnético ya ha empezado a degradarse. No, una cinta magnética no ofrece garantías para preservar información importante a largo plazo. Un disco duro tiene el mismo problema, pero se le suma el hecho de que tiene partes mecánicas móviles complejas, y eso lo hace mucho más propenso a fallos. ¿Un *pen drive*, entonces? Es pequeño, compacto, rápido de leer y, como

comentábamos en el último número, cabe más información dentro que en los discos duros de los ordenadores de hace solo unos pocos años. Pero... ¿es fiable? A mí me falló uno la semana pasada y no hubo forma de arreglarlo. Tampoco es que me esforzara mucho, es verdad, porque como ahora prácticamente te los regalan con los Phoskitos, era más sencillo coger otro.

¿Y la nube? La nube... ¿De verdad vais a confiar la receta de las torrijas de la abuela a algo que tiene nombre de cosa algodonosa que un día está ahí y el siguiente no? Yo no. En realidad, aparte de a la degradación del propio soporte físico (cuyo principal enemigo, por cierto, no son los campos magnéticos sino la temperatura), todos estos medios de almacenamiento basados en soportes magnéticos se enfrentan a otro problema seguramente más grave: la obsolescencia. Os proponía más arriba que escucharais una cinta de música de los ochenta, pero antes de que podáis

hacer la prueba seguramente os tendríais que plantear otra cuestión: ¿dónde demonios consigo un radio-cassette para reproducirla? O, sin ir más lejos, intentad leer un disco duro de cinco pulgadas en los que guardabais esa novela que escribisteis cuando erais jóvenes y que os iba a convertir en el nuevo Stephen King. Si conseguís una disquetera, seguramente vuestro sistema operativo no la soportará y tendréis que liar un pitote de padre y muy señor mío a base de máquinas virtuales con emulaciones de sistemas operativos de los que no tenían ventanitas. Siento deciros, jovencuelos que leéis esto mientras esbozáis una sonrisilla de suficiencia al pensar en los discos de cinco pulgadas, que lo mismo va a pasar con los *pen drives*, los discos duros o incluso con la nube. Llegarán medios de almacenamiento mejores, con mayor capacidad y menor consumo, y el acceso a los datos antiguos se hará cada vez más complicado. Así que, si queréis conservar la receta de las torrijas de la abuela, usad un trocito de papel. Sí, vale, es cierto: muchos papeles se ponen amarillos y después de unos cuantos años pueden incluso deshacerse. Pero, aunque a algunos pueda parecerles una contradicción, hoy, en plena revolución digital, hay varios grupos trabajando para conseguir un papel más resistente y dura-

do reduciendo su acidez, lo cual disminuye la proporción de impurezas responsables de romper las cadenas que forman su estructura y que producen su degradación. No en vano, aún hoy tenemos acceso a textos de hace dos mil quinientos años escritos en papiros, que vienen a ser como papel a lo bestia. Y si los antiguos egipcios lo podían hacer, ¿no vamos a conseguirlo nosotros, que se supone que sabemos mucho más? Por tanto, la mejor respuesta de entre las propuestas es la A. Y digo 'entre las propuestas' porque mi amigo David Galadí, que de esto sabe un montón (\*), me propuso una que sería todavía más adecuada: las tablillas de barro cocido que usaban los antiguos sumerios con escritura cuneiforme. Conserva las principales ventajas del papel, a saber: pueden descodificarse usando hardware accesible a todos nosotros (nuestros ojos y cerebro) y software público y no encriptado (siempre había querido aprender sumerio). Pero añaden una gran ventaja: son inmunes a la humedad y, sobre todo, al gran enemigo del papel: el fuego. A cambio, presentan un pequeño inconveniente: su escasa capacidad. Cabe la receta de las torrijas, pero para preservar El Quijote y poder llevártelo a la playa en vacaciones igual te hacía falta un camión de tres ejes. Incluso en versión tablilla de bolsillo.

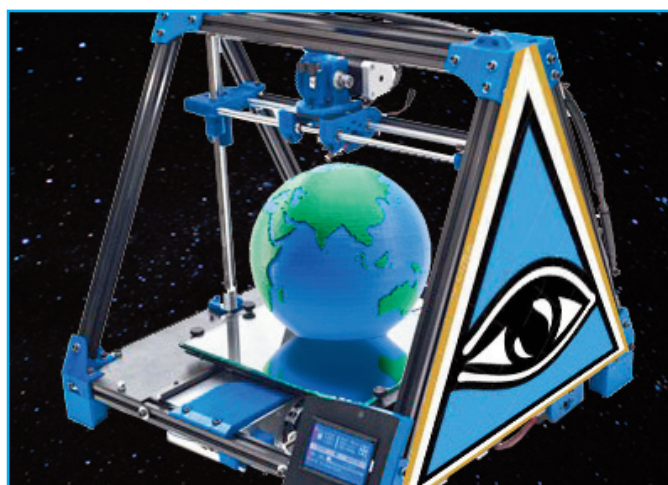
## la pregunta:

**E**n el próximo número hablaremos de lo que, según los expertos, será una de las revoluciones tecnológicas del futuro próximo: la impresión 3D. Si metéis estas dos palabras en Google os saldrán multitud de artículos y vídeos que os darán una idea de lo que ya se puede hacer y de lo que se conseguirá dentro de pocos años. El tema es tan apasionante que se me ocurren un montón de preguntas chulas. De momento me centro en los materiales, ya iremos comen-

tando otros aspectos curiosos. Las impresoras 3D comerciales habitualmente usan un material plástico que calientan e inyectan por capas, pero se han utilizado o propuesto muchos otros materiales, como... (¿cuál es la respuesta falsa?):

### RESPUESTAS

- A. SAL**
- B. POLVO LUNAR**
- C. CEMENTO**
- D. GUANO**
- E. TITANIO**



Algunas piezas de las impresoras 3D se fabrican en otras impresoras 3D. Entonces, ¿cómo surgió la primera? Según la secta de los tresdeprintianos del tercer día, Dios es la impresora 3D primigenia.



# EXPLOSIONES DE RAYOS GAMMA (GRBs)

## Pilares científicos

Colgate, aparte de ser una marca de dentífrico, es también y no por casualidad el apellido de una saga americana de la que también dimanó Stirling Colgate (1925-2013), un científico del afamado Laboratorio Nacional de Los Álamos. Él postuló que las explosiones nucleares deberían ser detectadas como fogonazos por detectores de rayos gamma a bordo de satélites militares en baja órbita. No en vano, había trabajado en el estudio de los productos radiactivos producidos por la bomba de hidrógeno, pero también dejó claro que podrían confundirse con emisión a alta energía resultante de explosiones de supernovas.

Retrotraigámonos pues cincuenta años, a mediados de los sesenta del pasado siglo, para situarnos en plena Guerra Fría entre las dos superpotencias de la época, los Estados Unidos y la Unión Soviética. Habiéndose firmado el 5 de agosto de 1963 el tratado de prohibición parcial de armas nucleares entre los dos países (conjuntamente con Inglaterra), no pasó mucho tiempo antes de que se pusieran en órbita satélites espías para ver si cada cual cum-

plía con lo pactado. De hecho, el primero de la serie Vela americana se lanzó tan sólo tres días (!!) después de firmarse dicho tratado. Por cierto, el nombre se tomó del infinitivo castellano “velar” (estar alerta).

El 2 de julio de 1967 tuvo lugar la primera detección de una explosión cósmica de rayos gamma (GRB) por parte de los satélites *Vela4A* y *Vela4B*, y el 3 de julio de 1969 fue localizado por primera vez un GRB de manera precisa (pocos grados de error), por los *Vela5A* y *Vela5B*. Los satélites soviéticos también registraron los destellos, pero si los militares americanos tardaron varios años en pasarle los datos a los científicos, más aún se demoraron sus colegas del otro lado del telón de acero. El primer artículo (en *Astrophysical Journal*) se publicó en 1974 y para un año después ya había casi un centenar de modelos para explicar su origen, a todas las escalas imaginables.

A partir de entonces, se sucedieron las mejoras en los detectores y las misiones espaciales para culminar con la conocida distribución isotropa de las fuentes originarias de los GRBs y una distribución bimodal (GRBs cortos y largos) que culminaron con la detección de las contrapartidas a otras longitudes de onda gracias a la detección

de la onda de choque contra el medio interestelar en forma de rayos X por parte del satélite *BeppoSAX* en 1997, época frenética que vivimos algunos de los científicos del IAA que aún trabajamos en este campo de la astrofísica. Ello supuso la confirmación del origen cosmológico de estas explosiones, merecedores del honor de ser los fenómenos más energéticos del Universo (si exceptuamos el propio *big bang*).

Hoy en día está ampliamente aceptado que los GRBs de larga duración se deben a que el núcleo de una estrella extremadamente masiva, de baja metalicidad y rotación rápida (como una de tipo Wolf-Rayet), se colapsa en un agujero negro en las etapas finales de su evolución. La caída de esta materia hacia el agujero negro genera una pareja de chorros relativistas en la dirección del eje de rotación, que empujan con fuerza la capa superior de la estrella atravesándola literalmente y produciendo una serie de choques internos (la emisión gamma en sí) y externos al chocar con el medio interestelar (la emisión a otras longitudes de onda). La radiación sincrotrón es el proceso físico predominante que domina la emisión en todas las longitudes de onda.

Imagen de fondo: GRB 100621A  
Fuente: NASA/Swift/Stefan Immler.

## Incetidumbres

Como casi siempre ocurre en la ciencia, nuevos hallazgos dan lugar a nuevos interrogantes. Mencionamos tres de ellos a modo de ejemplo:

1. El satélite *Swift* ha mostrado que la emisión ultravioleta y óptica por un lado y la emisión en rayos X por otro no van parejas en la mayoría de los casos, lo que complica el modelo estándar. La realidad es más compleja y se han postulado la existencia de al menos dos tipos de chorros relativistas, geometrías diversas, etc. La confirmación de muy alta polarización en

rayos gamma (con errores de medición demasiado altos por ahora) puede ser crucial. ¿Será la futura misión *AstroMeV* de la ESA (en preparación y si se aprueba) la que tenga la respuesta?

2. Ahora que ya se han descubierto un puñado de supernovas (altamente energéticas, eso sí) responsables de una considerable fracción de los GRBs de larga duración, se está debatiendo si algunos de estos GRBs/SNe se podrían considerar luminarias estándares con lo que supondrían un nuevo método para restringir los parámetros cosmológicos como ya se ha hecho con las supernovas tipo Ia. Pero necesitamos al menos quintuplicar la muestra existente...

3. Por otro lado, aunque no todos los GRBs de corta duración responden al modelo de coalescencia de estrellas compactas en sistemas binarios residiendo en galaxias de tipo temprano, son sin duda alguna los candidatos número uno para producir las ondas gravitatorias que se esperan detectar con el experimento Advanced LIGO en tierra y con la misión *LISA Pathfinder* en el espacio a partir de 2015. ¿Tendremos que esperar una década (como rezan las previsiones más pesimistas) para detectar uno?

Entre tanto, muchos de los trabajos de Colgate siguen siendo aún material clasificado...



# AGENDA

<http://www.divulgacion.iaa.es/ciclo-lucas-lara>

## CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA. CICLO LUCAS LARA

30 oct 19h	Mayra Osorio (IAA)	La cuna de la vida: cómo se forman las estrellas y los planetas
28 nov 18h	Emilio J. Alfaro (IAA) y Juan Manuel García Ruiz (LEC). Matilde Barón (EEZ) y Juan Castilla (EEA).	Duetos científicos con motivo de la celebración del 75 aniversario del CSIC
18 dic 19h	José Juan López Moreno y Pedro J. Gutiérrez (IAA)	La misión Rosetta

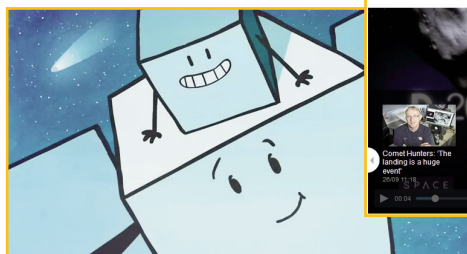


LOS VÍDEOS DE LAS SESIONES ANTERIORES ESTÁN DISPONIBLES EN: <http://www-divulgacion.iaa.es/ciclo-lucas-lara>

# RECOMENDADOS

## MISIÓN ROSETTA. MATERIAL DE DIVULGACIÓN

La Agencia Espacial Europea ha desarrollado una completa página web para dar a conocer la misión Rosetta a través de diversos formatos: numerosas imágenes y vídeos, una serie en youtube que responde a curiosidades sobre la misión, una plantilla que permite construir un modelo de la nave, entrevistas a investigadores difundidas a través de Euronews, una serie de dibujos animados, un concurso de fotografía, un blog y perfiles de facebook y twitter.

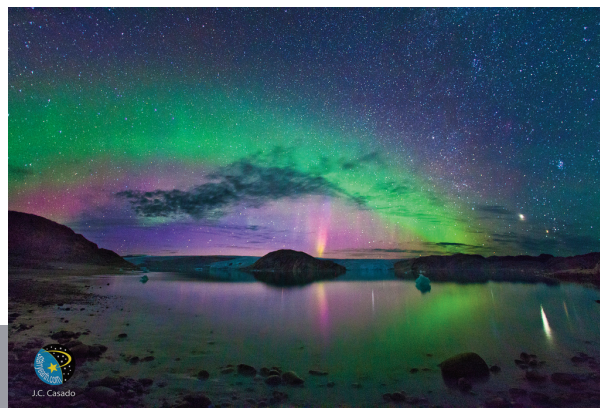


<http://sci.esa.int/rosetta/53593-outreach-resources/>

## PROYECTO GLORIA

GLORIA responde a las siglas de *GLO*bal *RO*botic-*TE*lescopes *IN*elligent *A*rray y será la primera red de telescopios robóticos del mundo de acceso libre. Los usuarios podrán adentrarse en la astronomía realizando observaciones directas con telescopios robóticos, o analizar datos que otros usuarios hayan adquirido. El acceso será libre para todo aquel que tenga una conexión a internet y un navegador web. GLORIA está abierto a cualquiera con interés en la astronomía y solo es necesario darse de alta como usuario para comenzar a investigar el cosmos.

<http://gloria-project.eu/es/>



## EL RADIOSCOPIO

El Radioscopio es un programa de divulgación científica realizado y producido desde Canal Sur Radio en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Presentado y dirigido por Susana Escudero (RTVA) y Emilio J. García (IAA), este programa aborda la divulgación de la ciencia con humor y desde una perspectiva original y rigurosa.

<http://radioscopio.iaa.es>

## CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

El IAA organiza mensualmente charlas de divulgación astronómica para estudiantes, a petición de los colegios interesados. Pueden obtener más información en la página Web del instituto o contactando con Emilio J. García (Tel.: 958 12 13 11; e-mail: [garcia@iaa.es](mailto:garcia@iaa.es)).